



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODRÓMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO

Autor: Daniel Mora García-Uceda.

Tutor: Higinio Rubio Alonso.

Leganés, julio de 2010

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi tutor, Higinio Rubio Alonso. Gracias por todo el tiempo que me ha dedicado y cuyas enseñanzas me han hecho crecer no solo como ingeniero, sino también como persona. Me gustaría hacer extensible este agradecimiento al Departamento de Ingeniería Mecánica, en especial a Juan Carlos, Jesús, José Luis y el resto de profesores que impartieron el curso “Diseño mecánico: Solid Edge ST” a través de la Cátedra Ikertia en 2009. Gracias por abrirme la puerta a lo que hoy es mi profesión.

Gracias a mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, por soportarme durante todos los años de carrera. Gracias por todo el apoyo que me habéis dado, sobre todo cuando los resultados no acompañaban al esfuerzo dedicado. Sin vuestra paciencia y ayuda esto hubiera resultado mucho más duro, sobre todo en los últimos días, cuando más castigaban los nervios y el estrés.

No puedo olvidarme de mis amigos, por estar a mi lado, apoyándome en todo lo que he necesitado. Gracias también a mis compañeros y amigos de la carrera. Hemos compartido muchos momentos duros, pero también muchos buenos momentos que jamás olvidaré.

Mil gracias a ti, Cristina, por tu apoyo incondicional en los buenos y los malos momentos. Sin tu confianza y apoyo no hubiera podido conseguirlo.

Por último, este proyecto se lo dedico a la única persona que se sorprendía cada vez que le recordaba que su nieto iba a ser Ingeniero. Gracias por tu devoción. Abuelo, donde estés, este proyecto es para ti.



Índice



Índice de contenidos.

INTRODUCCIÓN	1
1.1 ÁMBITO.	3
1.2 OBJETIVOS.	5
1.3 ETAPAS DEL PROYECTO.	7
1.4 ESTRUCTURA DEL PROYECTO.	9
ESTADO DE LA TECNOLOGÍA. ROBOTS BÍPEDOS	11
2.1 INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA.	13
2.2 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LA ROBÓTICA.	21
2.2.1 INVESTIGACIÓN - EXPLORACIÓN.	21
2.2.2 ENTRETENIMIENTO.	21
2.2.3 CONSTRUCCIÓN.	21
2.2.4 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.	21
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS.	25
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS SEGÚN SU ARQUITECTURA.	25
2.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS SEGÚN SU GENERACIÓN	28
2.3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS SEGÚN SU NIVEL DE INTELIGENCIA	28
2.3.4 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS SEGÚN SU NIVEL DE CONTROL.	29
2.3.5 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS SEGÚN NIVEL DE LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.	29
2.4 ROBOTS BÍPEDOS.	30
2.4.1 EJEMPLOS DE ROBOTS BÍPEDOS PASIVOS.	30
SELECCIÓN DEL MECANISMO	39
3.1 PLANTEAMIENTO Y PLANIFICACIÓN.	41
3.2 INTRODUCCIÓN AL WORKING MODEL 2D.	44
3.2.1 ¿QUÉ ES WORKING MODEL?	44
3.2.2 HISTORIA DEL WORKING MODEL.	44
3.2.3 ÚLTIMAS VERSIONES DE WORKING MODEL (VERSIONES EN 2D)	45
3.2.4 CARACTERÍSTICAS Y ÁREAS DE APLICACIÓN.	45
3.2.5 INFORMACIÓN SOBRE EL FABRICANTE	49
3.3 ESTUDIO DE PROTOTIPOS	50
3.3.1 CRITERIO PARA EL CÁLCULO DE GRADOS DE LIBERTAD.	50
3.3.2 VARIABLES DEL PROTOTIPO.	51
3.3.3 SÍMBOLOS EN LOS PROTOTIPOS	51
3.3.4 PROTOTIPO 1.	52
3.3.5 PROTOTIPO 2.	53
3.3.6 PROTOTIPO 3.	55
3.3.7 PROTOTIPO 4.	58
3.3.8 PROTOTIPO 5.	61



PROPUESTA DE DISEÑO DEL PROTOTIPO EN 3D	73
4.1 INTRODUCCIÓN DE SOLID EDGE.	75
4.1.1 HISTORIA DE SOLID EDGE.	76
4.1.2 CARACTERÍSTICAS DE SOLID EDGE.	77
4.1.3 ÚLTIMAS VERSIONES DE SOLID EDGE.	78
4.1.4 SYNCHRONOUS TECHNOLOGY Y SOLID EDGE.	78
4.1.5 SOLID EDGE WITH SYNCHRONOUS TECHNOLOGY 2	79
4.1.6 ENTORNOS DE SOLID EDGE ST	82
4.2 PREDISEÑO DEL PROTOTIPO.	86
4.2.1 DEFINICIÓN DEL PROTOTIPO	87
4.2.2 DISEÑO DE COMPONENTES Y SUBCONJUNTOS.	89
4.2.3 ELEMENTOS MOTRICES.	102
4.2.4 ELEMENTOS DE UNIÓN.	104
4.2.5 CONJUNTO GENERAL.	111
4.3 ANIMACIÓN DEL ROBOT BÍPEDO.	119
4.3.1 ANIMACIÓN DE UN PASO.	120
CONCLUSIONES. TRABAJOS FUTUROS	125
5.1 CONCLUSIONES.	127
5.2 TRABAJOS FUTUROS.	129
ESTIMACIÓN DEL COSTE DEL PFC	131
BIBLIOGRAFÍA	135
7.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	137
7.2 PÁGINAS DE INTERNET.	137
7.3 ARTÍCULOS Y PUBLICACIONES.	138
ANEXOS	I
A. MINIBIPED.	III
B. MOTOR MAXON RE 36 118798.	V
C. HARMONIC DRIVE HFUC-14-100-2UH.	VII
D. CASQUILLO GLACIER.	IX
E. ANILLO SEEGER.	XI
F. ELEMENTOS DE UNIÓN.	XIII
TORNILLOS.	XIII
ARANDELAS.	XIV
TUERCAS.	XV
G. MATERIALES EMPLEADOS.	XVII
ALUMINIO 1060.	XVII
LATÓN.	XVIII
BRONCE.	XIX
H. PLANOS.	XXI

Índice de Figuras

<i>Figura 1.1. Robots diseñados para la industria militar y de entretenimiento.</i>	3
<i>Figura 1.2. Nº Robots por cada 10.000 trabajadores.</i>	4
<i>Figura 1.3. Imagen de Minibiped.</i>	8
<i>Figura 2.1. Gallo de Estrasburgo.</i>	13
<i>Figura 2.2. Pato de Vauncanson (1738).</i>	14
<i>Figura 2.3. El Dibujante, la Organista y el Escriba. Obra de Pierre Jaquet Droz.</i>	14
<i>Figura 2.4. Telar de Jacquard.</i>	15
<i>Figura 2.5. Torres Quevedo muestra su "Ajedrecista" a Norbert Wiener.</i>	16
<i>Figura 2.6. Isaac Asimov.</i>	16
<i>Figura 2.7. Primer robot Unimate.</i>	18
<i>Figura 2.8. Robot Industrial PUMA.</i>	18
<i>Figura 2.9. Robot Scara.</i>	19
<i>Figura 2.10. Algunos de los robots 2ª generación ALBO.</i>	20
<i>Figura 2.11. "IRobot Roomba Robotic Floorvac"</i>	20
<i>Figura 2.12. Movimiento según coordenadas cartesianas.</i>	22
<i>Figura 2.13. Volumen de trabajo cúbico.</i>	23
<i>Figura 2.14. Movimiento según coordenadas cilíndricas.</i>	23
<i>Figura 2.15. Volumen de trabajo cilíndrico.</i>	23
<i>Figura 2.16. Movimiento según configuración esférica.</i>	24
<i>Figura 2.17. Volumen de trabajo irregular.</i>	24
<i>Figura 2.18. Movimiento según configuración articulada.</i>	24
<i>Figura 2.19. Androides "protagonistas" en la película Yo robot.</i>	25
<i>Figura 2.20. Robot Móvil.</i>	25
<i>Figura 2.21. "Juguete robótico" de carácter zoomórfico.</i>	26
<i>Figura 2.22. Prótesis robótica de una pierna.</i>	26
<i>Figura 2.23. Brazo robot utilizado en la industria.</i>	26
<i>Figura 2.24. Telerobot en Marte.</i>	27
<i>Figura 2.25. Robot Híbrido.</i>	27
<i>Figura 2.26. WABOT 1. Desarrollado por la universidad de Waseda.</i>	31
<i>Figura 2.27. WABOT 2.</i>	31
<i>Figura 2.29. E0: primer prototipo bípedo de HONDA.</i>	32
<i>Figura 2.28. WABIAN-2R.</i>	32
<i>Figura 2.30. Modelos experimentales E1, E2 y E3.</i>	33
<i>Figura 2.31. Tercera generación de robots de honda: E4, E5 y E6.</i>	33
<i>Figura 2.32. Prototipos P1, P2 y P3.</i>	34
<i>Figura 2.33. Robot ASIMO.</i>	34
<i>Figura 2.34. H6</i>	35
<i>Figura 2.35. QRIO, de SONY.</i>	36
<i>Figura 2.36. Prototipo HRP-2P.</i>	36
<i>Figura 2.37. RH1 junto a su Predecesor, RH-0.</i>	37
<i>Figura 3.1. Imagen presentación Working Model 2D</i>	41
<i>Figura 3.2. Pantalla de información Working Model.</i>	41
<i>Figura 3.3. Diagrama de flujo del desarrollo del modelo en 2D.</i>	43
<i>3.4. Ejemplo de diseño en Working Model 2D.</i>	44
<i>Figura 3.5. Logo Interactive Physics</i>	44

Figura 3.6. Logo Working Model	45
Figura 3.7. Secuencia de simulación de movimiento en Working Model.	49
Figura 3.8. Eslabones de prototipo 1.	52
Figura 3.9. Eslabones de prototipo 2.8	54
Figura 3.10. Eslabones prototipo 3.	55
Figura 3.11. Diseño del prototipo 3.	56
Figura 3.12. Gráfico de la posición del eslabón 8 (prototipo 3).	57
Figura 3.13. Gráfico de las velocidades c.d.m. eslabón 8 (prototipo 3).	57
Figura 3.14. Eslabones prototipo 4.	58
Figura 3.15. Prototipo 4 tras la simulación.	59
Figura 3.16. Trayectoria centra de gravedad eslabón 8 (prototipo 4).	60
Figura 3.17. Velocidades del centro de masas eslabón 8 (prototipo 4).	60
Figura 3.18. Eslabones del prototipo 5.	62
Figura 3.19. Prototipo 5 tras la simulación.	63
Figura 3.20. Gráfico del c.d.m. eslabón 8 (prototipo 5)	64
Figura 3.21. Gráfico de la velocidad del c.d.m. eslabón 8 (prototipo 5)	64
Figura 3.22. Grafica $ V $ del centro de masas del eslabón 8 (prototipo 5)	65
Figura 3.23. Gráfico de las aceleraciones horizontal y vertical d del eslabón 8.	65
Figura 3.24. Trayectorias de los grupos de eslabones.	66
Figura 3.25. Trayectoria del eslabón 6.	67
Figura 3.26. Gráfico de la trayectoria del c.d.m. del eslabón 6.	68
Figura 3.27. Gráfica de los componentes de la velocidad del c.d.m. del eslabón 6.	68
Figura 3.28. Trayectoria del c.d.m. del eslabón 9.	69
Figura 3.29. Grafica de la trayectoria del centro de masas del eslabón 9.	70
Figura 3.30. Gráfica de las componentes de la velocidad del c.d.m. del eslabón 9.	70
Figura 4.1. Última versión: "Solid Edge ST2".	75
Figura 4.2. Evolución de una extrusión en entorno pieza tradicional.	78
Figura 4.3. Evolución de una extrusión en entorno pieza síncrono.	79
Figura 4.4. Edición de modelos 3D con secciones transversales 2D.	80
Figura 4.5. Entorno chapa síncrono.	80
Figura 4.6. Edición dinámica de chapa.	81
Figura 4.7. Solid Edge Simulation.	81
Figura 4.8. Ejemplo de elemento diseñado en Entorno Pieza síncrona.	82
Figura 4.9. Ejemplo de elemento diseñado en Entorno Chapa Tradicional.	83
Figura 4.10. Ejemplo de mecanismo diseñado en Entorno Conjunto síncrono.	84
Figura 4.11. Ejemplo de pieza dibujado en Entorno Plano.	85
Figura 4.12. Enumeración de eslabones del prototipo final.	86
Figura 4.13. Propuesta de diseño.	88
Figura 4.14. Conjunto Base.	89
Figura 4.15. Base.	90
Figura 4.16. Chapa.	91
Figura 4.17. Sujeción.	91
Figura 4.18. Soporte motor.	92
Figura 4.19. Soporte distribuidor.	92
Figura 4.20. Barra principal.	93
Figura 4.21. Tren inferior.	93
Figura 4.22. Enganche tren inferior.	94
Figura 4.23. Barra transmisora del movimiento vertical.	94

<i>Figura 4.24. Barra generadora de movimiento horizontal.</i>	95
<i>Figura 4.25. Barra de unión.</i>	95
<i>Figura 4.26. Triángulo.</i>	96
<i>Figura 4.27. Rueda transmisora.</i>	97
<i>Figura 4.28. Eje.</i>	98
<i>Figura 4.29. Barra generadora de movimiento vertical.</i>	98
<i>Figura 4.30. Barra transmisora de movimiento horizontal.</i>	99
<i>Figura 4.31. Chapa soldable.</i>	99
<i>Figura 4.32. Chapa posterior.</i>	100
<i>Figura 4.33. Pie derecho.</i>	100
<i>Figura 4.34. Pie.</i>	101
<i>Figura 4.35. Enganche pie.</i>	101
<i>Figura 4.36. Pie izquierdo.</i>	102
<i>Figura 4.37. Motor Maxon RE 36 118798.</i>	103
<i>Figura 4.38. Harmonic Drive.</i>	103
<i>Figura 4.39. Sistema distribuidor y ruedas motrices.</i>	104
<i>Figura 4.40. Amarre motor.</i>	105
<i>Figura 4.41. Soporte Harmonic Drive.</i>	105
<i>Figura 4.42. Casquillo comercial 0820 DU.</i>	106
<i>Figura 4.43. Arandela de fricción.</i>	107
<i>Figura 4.44. Bulón.</i>	107
<i>Figura 4.45. Anillo Seeger DIN 471.</i>	108
<i>Figura 4.46. Tornillos DIN 933.</i>	109
<i>Figura 4.47. Arandelas DIN 125.</i>	109
<i>Figura 4.48. Tuerca M6 DIN 985.</i>	109
<i>Figura 4.49. Primera fase de montaje.</i>	112
<i>Figura 4.50. Explosionado de primera fase de montaje.</i>	113
<i>Figura 4.51. Segunda fase de montaje. Patas derecha e izquierda por separado.</i>	113
<i>Figura 4.52. Ejemplo de montaje: Unión mediante bulones y anillos seeger.</i>	114
<i>Figura 4.53. Articulación de la rodilla.</i>	115
<i>Figura 4.54. Fase final de montaje.</i>	116
<i>Figura 4.55. Unión de la base con una de las patas.</i>	116
<i>Figura 4.56. Montaje final. Vistas delantera y trasera.</i>	117
<i>Figura 4.57. Posición de CM del conjunto.</i>	117
<i>Figura 4.58. Renderizado de robot bípedo.</i>	120
<i>Figura 4.59. Elección del motor.</i>	121
<i>Figura 4.60. Distancia mínima entre ambos pies.</i>	121
<i>Figura 4.61. Secuencia del primer paso.</i>	122
<i>Figura 4.62. Secuencia del segundo paso.</i>	122
<i>Figura 4.63. Secuencia de un ciclo de pasos.</i>	123
<i>Figura 5.1. Propuesta final del bípedo.</i>	127



Índice de Tablas.

<i>Tabla 3-1. Símbolos representativos de los prototipos en Working Model.</i>	51
<i>Tabla 3-2. Pares cinemáticos prototipo 1.</i>	53
<i>Tabla 3-3. Pares cinemáticos prototipo 2.</i>	54
<i>Tabla 3-4. Pares cinemáticos prototipo 3.</i>	55
<i>Tabla 3-5. Pares cinemáticos prototipo 4.</i>	59
<i>Tabla 3-6. Pares cinemáticos prototipo 5.</i>	62
<i>Tabla 4-1. Nombre y dimensiones principales de eslabones nombrados en Working Model.</i>	86
<i>Tabla 4-2. Resumen de piezas.</i>	110
<i>Tabla 6-1. Presupuesto del PFC.</i>	134



Capítulo 1

Introducción



1.1 Ámbito.

En la actualidad, la robótica se ha convertido en una de las ciencias que más interés suscita entre la comunidad científica. El ser humano lleva siglos soñando con la creación de máquinas autónomas y obedientes, capaces de llevar a cabo los trabajos más duros. A finales del siglo XX ese sueño comenzó a ser real. Los robots ya han demostrado ser excelentes sustitutos de los humanos para llevar a cabo tareas repetitivas que no requieran capacidad de improvisación. Ya hay numerosos robots realizando infinidad de tareas en ámbitos muy diferentes: trabajando en minas y excavaciones petrolíferas, fabricando bienes de consumo en cadenas de montaje, explorando el espacio, combatiendo en guerras o como herramienta de entretenimiento, entre otras muchas tareas.



Figura 1.1. Robots diseñados para la industria militar y de entretenimiento.

A día de hoy, el tipo de robot que más se demanda es el robot industrial. Las empresas representadas por la Robotic Industries Association (RIA), que suponen el 90% de la industria robótica de Estados Unidos, vendieron un total de 11.384 robots por un valor de más de 745,1 millones de dólares durante los primeros nueve meses de 2004, un 13% más que el año anterior. [1]

Según un estudio de CEE-ONU, a principios de los noventa apenas había en España ocho robots industriales por cada 10.000 empleados en la industria manufacturera. A finales de 2002 ya había 66. La media en la UE ese año era de más de 80 unidades por cada 10.000 empleados, con Alemania ostentando el récord de casi 140 unidades. En la industria del automóvil la media era de 760 robots por cada 10.000 empleados. [2]

La Figura 1.2 corresponde a un gráfico, publicado por “IEEE Spectrum”, en el artículo “The Rise of Machines”, en diciembre de 2008, que muestra el reparto mundial de robots en comparación con los trabajadores humanos, es decir, cuántos robots industriales hay por cada 10.000 trabajadores del mismo sector, en cada país. [3]

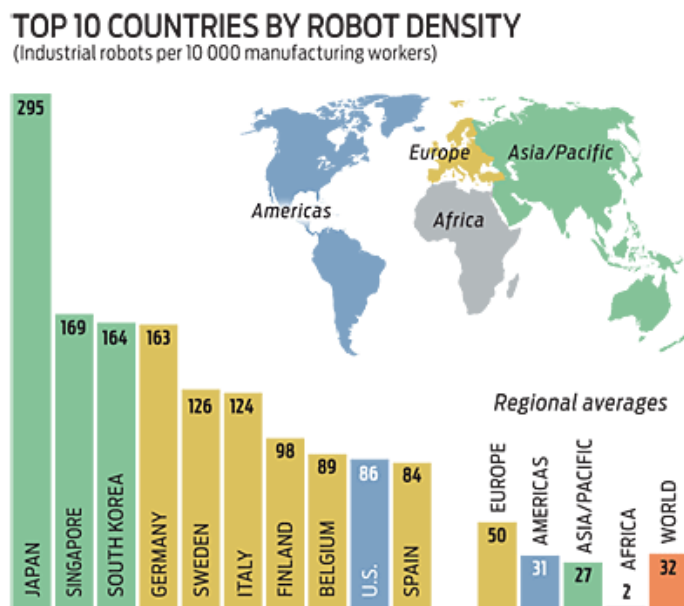


Figura 1.2. Nº Robots por cada 10.000 trabajadores.

En total hay ya un millón de robots en todo el mundo y destaca sobre todo Japón, como cabe esperar, con una diferencia enorme respecto a los siguientes. España ocupa el décimo lugar en el mundo. Por continentes, Europa está por delante de América, que a su vez está por delante de Asia.

La robótica de servicios es una de las áreas prioritarias de investigación en el campo de la robótica y automatización, tal y como lo demuestran las áreas temáticas del 7º Programa Marco de la Unión Europea y las sendas de investigación de las dos únicas redes europeas de robótica, Euron y Clawar. La aplicación de los robots a tareas de servicios (asistencia personal, educación, tareas sociales, etc.) hace que su diseño sea de suma importancia. Los robots móviles actuales no están adaptados para ser utilizados en entornos domésticos (hay ciertas excepciones, véase el caso del robot aspiradora Roomba, Figura 2.11) debido a su volumen y a su falta de maniobrabilidad en un entorno tan complejo como son estos escenarios [4].

En este campo han surgido muchos proyectos internacionales de desarrollo de robots humanoides adaptados a entornos domésticos o laborales que trabajen como robots de servicio, puesto que pueden llegar a tener mejor maniobrabilidad y facilidad para moverse en entornos con superficies irregulares, escaleras, etc.

Este interés también ha llegado a la comunidad universitaria. La universidad Carlos III de Madrid se encuentra inmerso en la investigación de varios robots. En la actualidad, el departamento de Ingeniería Mecánica tiene varios frentes de investigación abiertos a través del estudio de robots bípedos.

1.2 Objetivos.

El presente proyecto se elabora como complemento del curso denominado *“Diseño mecánico: Solid Edge-Synchronous Technology”* impartido por profesores del grupo MAQLAB, dentro del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, a través de la Cátedra Ikertia.

El objetivo principal de este proyecto fin de carrera es:

“Elaborar una propuesta de diseño mecánico de un mecanismo desmodrómico que reproduzca el comportamiento de un robot bípedo con diseño basado en la funcionalidad de la pierna humana”.

Para ello se propone un prediseño de bípedo, basado en eslabones articulados entre sí, de tal forma que el prototipo final sea capaz de desarrollar la trayectoria completa de la pierna. Esta propuesta dispondrá de un único grado de libertad.

Para llevar a cabo el objetivo principal, se establecen una serie de hitos u objetivos secundarios que deben realizarse:

- El primero de estos objetivos es realizar un modelo (mecanismo) de una pata de robot en 2 dimensiones. Este modelo de mecanismo debe tener un solo grado de libertad y el eslabón situado en la parte inferior del mecanismo tiene que realizar una trayectoria que se asemeje, dentro de un orden, a la de un pie perteneciente a una pierna humana, cuando está realizando un paso. La elección del modelo en 2 dimensiones será, esencialmente, de carácter geométrico y cinemático.
- Representar el movimiento del mecanismo en 2 dimensiones a través de gráficas que ratifiquen la viabilidad del prototipo para continuar el estudio.
- Tras el modelado dimensional de una pata en 2 dimensiones, se realizará una representación del robot, esta vez en 3 dimensiones, basándose en el prototipo conseguido. Este prediseño se compondrá de dos patas idénticas, pies como representaciones especulares y una base donde se sincronizará el movimiento de ambas patas, además de servir de soporte para un motor, sistema distribuidor y resto de elementos necesarios.
- Una vez realizado el prediseño del prototipo se efectuarán varias animaciones por ordenador, en las cuales se apreciará el montaje, tanto general como detallado, del prototipo final. También se realizarán varias animaciones del dispositivo dando varios “pasos”, desde varios puntos de vista, con una similitud razonable con respecto al caminar humano.

Los programas que se van a utilizar para realizar cada uno de los objetivos son:

- Para conseguir el modelo en 2 dimensiones se usará el programa Working Model 2D. Con éste programa también se realizará una animación del modelo para poder conseguir las gráficas necesarias.

- Los datos que se recogen de la animación en 2 dimensiones se procesarán con una hoja de cálculo, en Microsoft Excel 2007, programa con el que se conseguirán todas las gráficas que se representarán a lo largo del proyecto
- El Solid Edge ST es el programa de diseño mecánico que se utilizará para la transformación del modelo en 3 dimensiones. A través de su entorno ERA, se plasmarán tanto los despieces como la animación final.

Estos objetivos engloban una propuesta de diseño de robot bípedo con un único grado de libertad capaz de realizar una caminata con la ayuda de un único motor.

1.3 Etapas del proyecto.

Todos los proyectos de ingeniería deben seguir una serie de fases que engloben desde la concepción inicial del dispositivo hasta su fabricación y puesta a punto final. Existen muchas publicaciones en las que se especifican cuales son estas fases. Aunque difieren en la clasificación de las mismas, en esencia coinciden todas ellas.

Las fases que componen un proyecto genérico de ingeniería son las siguientes:

- Ideas iniciales, prediseño y planificación.

En esta primera fase se exponen las ideas principales para la realización del proyecto. Se analizan los datos de partida y se realiza un prediseño plasmando las ideas principales.

- Estudios previos.

Partiendo del prediseño obtenido en el apartado anterior se realizan análisis y estudios que garanticen la viabilidad, tanto en aspectos técnicos como económicos, del proyecto.

- Diseño, simulación y análisis.

Una vez se ratifica la viabilidad del proyecto, se realiza un diseño más en profundidad en el que se engloben todos los resultados de los estudios realizados. Con el diseño final acabado se procede a la ejecución de las simulaciones y análisis que garantizan su funcionalidad.

- Fabricación y pruebas.

Siguiendo al pie de la letra el diseño, se procede a la fabricación y montaje del proyecto. Una vez terminado se realizan pruebas que verifiquen su correcta fabricación.

- Puesta a punto y entrega.

Tras dar los últimos retoques y ajustes, el proyecto está listo para entregar al cliente final.

Este proyecto se centrará en la primera fase, el prediseño del dispositivo, por lo que las pautas a seguir son menos restrictivas, es decir, se tiene más “libertad creativa”.

Las etapas que se han seguido para la realización del proyecto son las siguientes:

- Para la elección del mecanismo primario se ha recurrido a una búsqueda por Internet. El mecanismo de origen es un robot bípedo denominado *Minibiped*, cuyos datos encontrados son muy escasos. *Minibiped* es un robot de pequeñas dimensiones (apenas 10cm. de altura) destinado únicamente para entretenimiento. La información de la que se dispone se presenta en los anexos, al final de este documento.

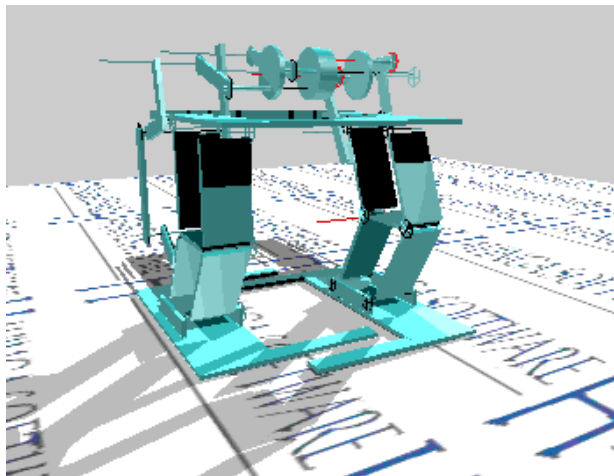


Figura 1.3. Imagen de *Minibiped*.

- A partir de este mecanismo de origen, cuyos elementos y restricciones no aparecen claramente definidos, se trata de crear, en principio, un mecanismo para robot bípedo basado en la disposición del Minibiped, con un solo grado de libertad. Además se plantea la opción de cambiar sus dimensiones y juntas, para probar el comportamiento de éste con un mecanismo de mayores dimensiones.
- Una vez realizado el planteamiento, definiendo bien las especificaciones, en la siguiente etapa se estudiará el mecanismo propuesto y se realizará un prototipo en dos dimensiones, con varias suposiciones respecto al mecanismo de origen. El mecanismo que se propone constará de un solo grado de libertad y poseerá una cinemática parecida a un paso de una pierna humana.
- La tercera etapa será reproducir el modelo 3 dimensiones, mediante una propuesta de diseño implementada en Solid Edge ST. Este prediseño constará de unas dimensiones mayores a las alcanzadas en la etapa anterior. Además del modelo en 3 dimensiones, se realizarán planos de todos los elementos, así como del posible montaje. También se dotará al prediseño de movimiento mediante animaciones, en las que se ven, de una forma visual, la cinemática conseguida. Al hacer la animación se desechan posibles interferencias entre elementos.

Al finalizar esta etapa, la primera fase queda terminada. La propuesta de diseño queda preparada para realizar la siguiente fase, como parte de trabajos y estudios posteriores.

1.4 Estructura del proyecto.

Este proyecto fin de carrera está formado por seis capítulos y anexos, donde se responde a los objetivos expuestos anteriormente.

Capítulo 1: Introducción.

En el presente capítulo se introduce el ámbito del proyecto, reflexionando sobre la importancia de los robots tanto en el sector servicios como en el sector industrial. También se establecen los objetivos que engloban este proyecto, explicando brevemente el procedimiento por el cual se abarcan cada uno de los objetivos comentados.

Tras los objetivos se exponen las etapas del proyecto, así como la estructura del mismo, que consta de una breve explicación de cada capítulo.

Capítulo 2: Estado de la tecnología. Robots bípedos

Capítulo teórico donde se introduce la historia de la robótica hasta nuestros días. En esta parte también se repasan algunas de las múltiples aplicaciones de los robots, así como varias clasificaciones de éstos, poniendo especial atención a los robots bípedos.

Capítulo 3: Selección del mecanismo

Está compuesto por un planteamiento del mecanismo, una breve introducción al programa empleado para el modelado del mecanismo, Working Model, y el estudio de diferentes prototipos hasta que se llega al que cumpla los objetivos. El prototipo en 2 dimensiones elegido para continuar el proyecto está avalado por una serie de gráficas sobre la cinemática y la dinámica del mecanismo.

Capítulo 4: Propuesta de diseño del prototipo en 3D

A lo largo de este capítulo se puede ver una pequeña introducción del programa usado para el prediseño en 3 dimensiones, Solid Edge ST. Tras la introducción se encuentra la propuesta de diseño del mecanismo. En este apartado se pueden ver todas las piezas que forman el conjunto, así como el montaje del mismo.

Una vez se ha terminado el montaje, el apartado siguiente muestra la animación del robot bípedo a través de la aplicación ERA, perteneciente al entorno conjunto de Solid Edge ST.

Capítulo 5: Conclusiones. Trabajos futuros

Este capítulo muestra las conclusiones arrojadas a lo largo del proyecto, analizando la consecución de los objetivos planteados en el primer capítulo, así como una lista de trabajos futuros para complementar el estudio.

Capítulo 6: Estimación del coste del PFC

Después de haber finalizado la totalidad del proyecto, se realiza una estimación de los costes del mismo, donde se incluye material, amortización de equipos, licencias, horas-hombre, costes indirectos, etc.

Capítulo 7: Bibliografía

Aquí se recogen las referencias bibliográficas empleadas a lo largo del proyecto. También se recogen el conjunto de páginas web empleadas para la realización del mismo.

Anexos

Para finalizar, los anexos del proyecto se componen de los planos de todas las piezas y conjuntos del robot bípedo, la descripción y características de los elementos comerciales empleados, información sobre los materiales de las piezas, etc.



Capítulo 2

Estado de la tecnología. Robots bípedos



2.1 Introducción a la robótica.

La robótica es la ciencia y la tecnología de los robots. Se ocupa del diseño, manufactura y aplicaciones de los robots. La robótica combina diversas disciplinas como son: la mecánica, la electrónica, la informática, la inteligencia artificial y la ingeniería de control. Otras áreas importantes en robótica son el álgebra, los autómatas programables y las máquinas de estados. [5]

La historia de la robótica ha estado unida a la construcción de "artefactos", que trataban de materializar el deseo humano de crear seres a su semejanza y que lo descargasen del trabajo. Por siglos el ser humano ha construido máquinas que imitan las partes del cuerpo humano. Los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas de sus dioses. La cultura árabe heredó y difundió los conocimientos griegos, utilizándolos no solo para diversión, sino dando a los mecanismos aplicaciones prácticas, incluyéndolos en la vida cotidiana de la realeza.

En la época medieval cabe destacar la figura del español Ramón Llull (1232-1316), quién desarrolló una máquina lógica llamada Ars Magna o arte general con el objetivo de explicar racionalmente los artículos de fe. Consistía en una serie de círculos concéntricos sobre los que había escritas distintas palabras. Cuando se movían los círculos para formar preguntas, simultáneamente se formaban respuestas para dichas preguntas con otra combinación de palabras.

El ejemplo más relevante de esta época es el *Gallo de Estrasburgo*. Este autómata es el más antiguo que se conserva en la actualidad. Construido en 1352, formaba parte del reloj de la catedral de Estrasburgo. Al dar las horas, el gato cacareaba en tres ocasiones, mientras movía las alas y el pico. Éste autómata funcionó hasta 1789.

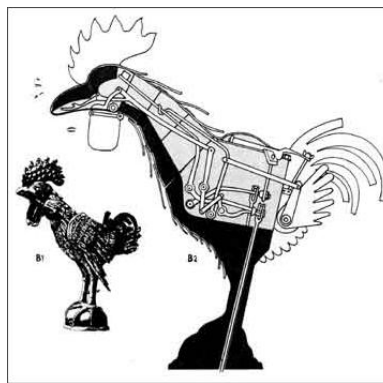


Figura 2.1. Gallo de Estrasburgo.

En el periodo de los siglos XV y XVI los más relevantes representantes del renacimiento se interesaron por los ingenios descritos por los griegos. El español Juanelo Turriaje construyó los conocidos *Hombre de Palo* y *la Tocadora de Laud*. Pero sin duda, el autómata más conocido de la época es el *León Mecánico*, construido por Leonardo Da

Vinci para la corte del rey Luis XII. El león se desgarraba el pecho con su propia garra y mostraba el escudo de armas del rey.

Durante los siglos XVII y XVIII en Europa fueron contruidos muñecos mecánicos muy ingeniosos que tenían algunas características de robots.

Jacques de Vaucanson, autor del primer telar mecánico, construyó varios músicos de tamaño humano en 1738. Esencialmente se trataba de robots mecánicos diseñados para un propósito específico: la diversión. Entre las construcciones de Vaucanson también destaca un pato, capaz de beber, comer, graznar e incluso digerir y evacuar la comida emulando al aparato digestivo de un pato real.

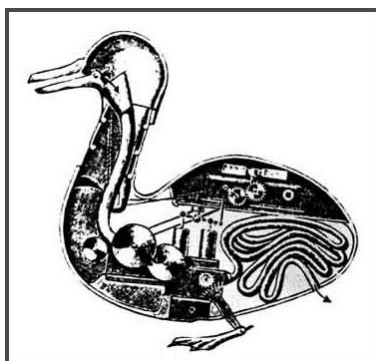


Figura 2.2. Pato de Vaucanson (1738).

El relojero suizo Pierre Jaquet Droz, con la ayuda de sus hijos Henri-Louis y Jaquet construyó varios muñecos capaces de escribir, dibujar y tocar diversas melodías en un órgano. Estos autómatas aún se conservan en el museo de Arte e Historia de Neuchâstel, Suiza. *El dibujante y el Escriba*, como se les conoce, tienen la apariencia de niños. Mientras que *la organista* está contruida con la figura de una mujer joven.



Figura 2.3. El Dibujante, la Organista y el Escriba. Obra de Pierre Jaquet Droz.

En el año 1779 la academia de las Ciencias de San Petersburgo ofreció un premio a quién inventara un mecanismo capaz de pronunciar las cinco vocales. A este concurso se presentó, junto a otros tres inventores, el Barón Wolfgang Von Kempelen. El inventor

presentó un mecanismo capaz de reproducir las cuerdas vocales de los seres humanos y pronunciar ciertas palabras.

En 1796 aparecieron tres volúmenes que formaban un completo manual sobre la construcción y funcionamiento de una muñeca capaz de andar en línea recta, servir te con una inclinación de cabeza y retirarse al recibir la taza vacía. El autor del manual titulado *Karakurizui* o “Bocetos de un autómeta” fue “Hanzo” Hosokawa.

A finales del siglo XVIII y a principios del XIX se desarrollan varias invenciones, muchas de las cuales estaban dirigidas al sector de la producción textil. Entre ellas se puede citar *la hiladora giratoria* de Hargreaves (1770), *la hiladora mecánica* de Crompton (1779), *el telar mecánico* de Cartwright (1785), *el telar de Jacquard* (1801), y otros.

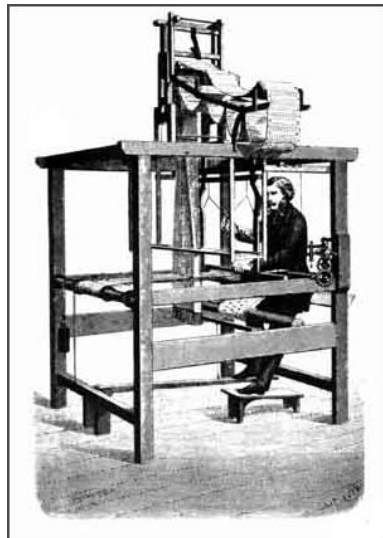


Figura 2.4. Telar de Jacquard.

En 1805, Henri Maillardet construyó una muñeca mecánica que era capaz de hacer dibujos. Al principio se trataba de la figura de un niño arrodillado con un lápiz en la mano que era capaz dibujar y de escribir en dos idiomas, inglés y francés. Posteriormente la familia Maillardet transformó el autómeta en una mujer.

En 1900 Leonardo Torres Quevedo diseñó y creó un conjunto de máquinas capaces de resolver ecuaciones polinómicas por procedimientos estrictamente mecánicos.

Torres Quevedo fue uno de los precursores de los vehículos teledirigidos o teleoperados. En 1906 inventó *el Teleniko*, un autómeta capaz de ejecutar órdenes a distancia a través de ondas Herzianas. Fue concebido para controlar barcos y dirigibles. *El Teleniko* era considerado como el primer autómeta de radiodirección de mundo.

El invento más conocido del ingeniero español vio la luz en 1912, *La Máquina ajedrecista*. Se trata de una máquina capaz de jugar un conjunto limitado de partidas finales de ajedrez. Fue una de las primeras máquinas, no solo capaz de manejar información, si no de usar esa información para tomar decisiones.

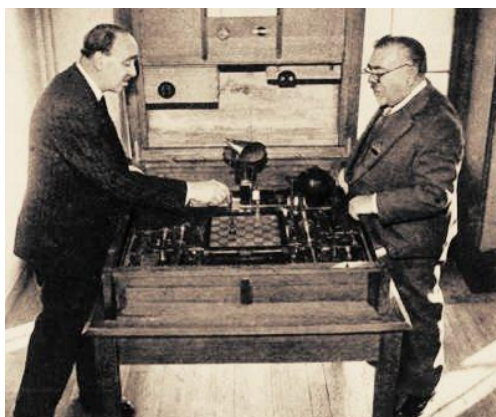


Figura 2.5. Torres Quevedo muestra su "Ajedrecista" a Norbert Wiener.

Karel Čapek, un escritor checo, acuñó en 1921 el término "Robot" en su obra dramática "Rossum's Universal Robots / R.U.R.", a partir de la palabra checa robota, que significa servidumbre o trabajo forzado.

El término robótica es acuñado por Isaac Asimov, definiendo a la ciencia que estudia a los robots.



Figura 2.6. Isaac Asimov.

Isaac Asimov fue un prolífico escritor Estadounidense de origen ruso. La obra futurista de Asimov ha gozado de gran popularidad por el sabio equilibrio que consigue entre el estilo, la imaginación literaria y el mundo tecnológico y científico. En 1939 empezó a publicar cuentos de ciencia ficción en revistas especializadas, imponiéndose en pocos años como el principal representante de la rama "tecnológica" de este género, en la que la visión del mundo futuro y de nuevas formas de organización social se basan siempre en premisas de carácter científico (aunque más o menos futuristas) y en los avances tecnológicos correspondientes.

Asimov mencionó las leyes de la robótica en una de sus obras. Aparecidas por primera vez en el relato Runaround (1942), establecen lo siguiente:



- Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto si estas órdenes entran en conflicto con la Primera Ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la Primera o la Segunda Ley.

En 1948 R. C. Goertz del *Argonne Nacional Laboratory* desarrolló, con el objetivo de manejar elementos radioactivos sin riesgo para el operador, el primer sistema de telemanipulación. Éste consistía en un dispositivo mecánico maestro-esclavo. El manipulador maestro, situado en la zona segura, era movido directamente por el operador, mientras que el esclavo, situado en contacto con los elementos radioactivos y unido mecánicamente al maestro, reproducía fielmente los movimientos de éste. El operador, además de poder observar a través de un grueso cristal el resultado de sus acciones, sentía a través del dispositivo maestro las fuerzas que el esclavo ejercía sobre el entorno.

Años más tarde, en 1954, Goertz hizo uso de la tecnología electrónica y del servocontrol sustituyendo la transmisión mecánica por otra eléctrica y desarrollando así el primer sistema de telemanipulación con servocontrol bilateral. Junto a la industria nuclear, a lo largo de los años sesenta, la industria submarina comenzó a interesarse por el uso de los telemanipuladores. A este interés se sumó la industria espacial en los años setenta.

La primera patente de un dispositivo robótico fue solicitada en marzo de 1954 por el inventor británico C. W. Kenward. Dicha patente fue emitida por el Reino Unido en 1957 con el número 781.465. Sin embargo, fue George C. Devol, ingeniero norteamericano, inventor y autor de varias patentes, el que estableció las bases del robot industrial moderno.

En 1954 Devol concibió la idea de un dispositivo de *transferencia de artículos programada* que se patentó en Estados Unidos en 1961 con el número 2.988.237. En 1956 pone esta idea en conocimiento de Joseph F. Engelberger, Director de ingeniería de la división aeroespacial de la empresa *Manning Maxwell y Moore* en Stanford, Connecticut. Juntos, Devol y Engelberger comienzan a trabajar en la utilización industrial de sus máquinas, fundando la *Consolidated Controls Corporation*, que más tarde se convierte en *Unimation* (Universal Automation). En 1961 instalaron su primera máquina Unimate (Máquina de transferencia Universal) en la fábrica de *General Motors* de Trenton, Nueva Jersey, en unas aplicaciones de fundición por inyección. Otras grandes empresas, como la AMF, emprendieron la construcción de máquinas similares (Versatran, 1960). Más tarde y por motivos comerciales, se empezó a denominar robots a estas máquinas destinadas a transferir piezas de manera versátil o universal. Este afortunado cambio de nombre, favoreció notablemente la difusión y aceptación de los robots por parte de la industria, proyectando una imagen de modernismo y avance tecnológico.

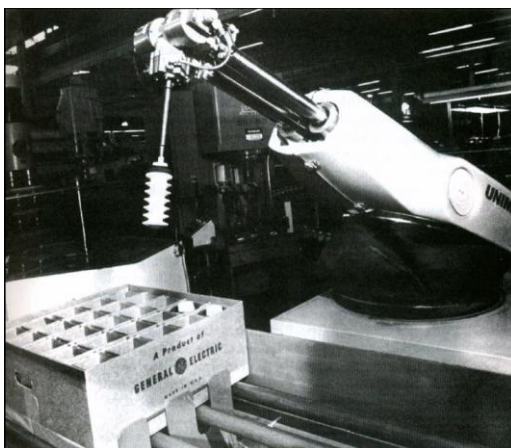


Figura 2.7. Primer robot Unimate.

En 1968 J. F. Engelberger visitó Japón y poco más tarde se firmaron acuerdos con Kawasaki para la construcción de robots tipo Unimate. El crecimiento de la robótica en Japón aventajó en breve a los Estados Unidos gracias a Nissan, que formó la primera asociación robótica del mundo, la *Asociación de Robótica Industrial de Japón* (JIRA) en 1972. Dos años más tarde se formó el *Instituto de Robótica de América* (RIA), que en 1984 cambió su nombre por el de *Asociación de Industrias Robóticas*, manteniendo las mismas siglas.

En los años finales de la década de los sesenta y principios de los setenta se ponen las bases de la investigación en robótica en las universidades. Se crean departamentos de investigación en inteligencia artificial, y se diseñan los primeros robots móviles con un cierto grado de autonomía, como Shakey por el *Stanford Research Institute* o el *Stanford Cart* de la Universidad de Stanford. También se ponen las bases de los diseños actuales de brazos manipuladores, principalmente por Víctor Scheinman, con el diseño del brazo de Stanford. Este robot fue el primer manipulador controlado por computador y con accionamiento eléctrico, y que llevaría más tarde al diseño, fabricación y comercialización del robot PUMA, uno de los robots industriales más famosos y utilizados, tanto en ambientes industriales, como de investigación.



Figura 2.8. Robot Industrial PUMA.

En 1973 la firma sueca ASEA construyó el primer robot con accionamiento totalmente eléctrico, el IRb6, seguido un año más tarde del IRb60. Posteriormente, ya como ABB, se convertiría en una de las empresas más importantes del mundo en la fabricación de robots industriales. En este sentido, en 1980 se fundó la *Federación Internacional de Robótica* con sede en Estocolmo, Suecia.

La configuración de los primeros robots respondía a las denominadas configuraciones esférica y antropomórfica, de uso especialmente válida para la manipulación. En 1982, el profesor Makino de la Universidad Yamanshi de Japón, desarrolla un concepto de robot SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) que busca un robot con un número reducido de grados de libertad (3 ó 4), un coste limitado y una configuración orientada al ensamblado de piezas.



Figura 2.9. Robot Scara.

Otro hito tecnológico importante en el diseño de robots es el accionamiento directo, desarrollado por la Universidad Carnegie Mellon en 1981. Los motores se acoplan directamente a las articulaciones sin necesidad de reductores, lo que permite movimientos más rápidos y precisos.

Uno de los primeros robots humanoides modernos fue creado por el profesor Ichiro Kato de la Universidad de Waseda, denominado Wasubod, presentado en la Exposición Universal de Tokio de 1985. El Wasubod, aunque no podía caminar, había sido diseñado con una forma cercana a la humana lo que le permitía leer partituras y tocar el piano con dos manos en las teclas y un pie en el pedal. En los últimos años, una nueva fiebre apareció en Japón en relación con los robots humanoides. Comenzó a finales de 1996, cuando la empresa Honda presentó el P-2, un robot bípedo con la apariencia de un hombre embutido en un traje espacial. Producto de diez años de investigación y de más de 100 millones de dólares, el P-2 era capaz de andar por sí solo y de realizar algunas tareas básicas, como subir escaleras. Una nueva versión mejorada en peso y autonomía, denominada P-3, apareció a finales del año siguiente. En el año 2002 Honda sacó una versión evolucionada de estos dos robots humanoides denominada ASIMO, aunque en la actualidad aún no se conocen aplicaciones prácticas del mismo.

Sin embargo, el pionero de los robots para entretenimiento basado en formas animales fue Sony, con su robot mascota con forma de perro llamado AIBO. Dotado de una cierta capacidad de aprendizaje y comportamiento autónomo. AIBO puede responder

a estímulos externos de su dueño y actuar consecuentemente. Fue desarrollado por el laboratorio D-21 de Sony y mostrado al público en Junio de 1999.



Figura 2.10. Algunos de los robots 2ª generación AIBO.

AIBO se ha usado principalmente para la investigación de la inteligencia artificial, dado que integra una computadora, sistema de visión y motores de articulación en un único paquete muy económico, comparado con otros robots de investigación de inteligencia artificial más comunes.

Uno de los hitos más recientes de la robótica es su introducción masiva en 2002 en los hogares, a través de una aspiradora autónoma denominada Roomba y desarrollada por la empresa iRobot.



Figura 2.11. "iRobot Roomba Robotic Floorvac"

El aparato es un disco de 34 cm de diámetro y menos de 9 cm de altura. Cuenta con sensores de contacto con paredes y muebles e infrarrojos. Los modelos de segunda y tercera generación cuentan con un sensor de suciedad que les permite centrarse en los puntos más sucios. Si los sensores detectan que la unidad queda atascada, ha sido levantada o no puede salir de una zona estrecha, una alarma comienza a sonar para que el dueño pueda encontrarlo.

2.2 Campos de aplicación de la robótica.

La mayor parte de los robots actuales tiene base estática, y se utilizan en aplicaciones industriales, tales como ensamblado, soldadura, alimentación de máquinas herramientas, etc., sin embargo, existen otro tipo de aplicaciones que han hecho evolucionar en gran medida, tanto la concepción de los robots como su propia morfología.

Entre estos robots dedicados a aplicaciones no industriales, destacan los robots espaciales (brazos para lanzamiento y recuperación de satélites, vehículos de exploración lunar, robots para construcción y mantenimiento de hardware en el espacio); robots para aplicaciones submarinas y subterráneas (exploración submarina, instalación y mantenimiento de cables telefónicos submarinos, limpieza e inspección de tuberías y drenajes subterráneos, inspección de sistemas de refrigeración de centrales nucleares); robots militares (desactivación de bombas, robots centinelas experimentales dedicados a patrullar áreas críticas); robots de vigilancia y rescate (robots bomberos para patrullar fábricas, robots aéreos); aplicaciones médicas (robots cirujanos, prótesis robotizadas, sistemas de ayuda a discapacitados); robots para aplicaciones agrícolas (sembrado y recogida de cosechas, robots para esquilvar ovejas); y un largo etc.

Algunos de los campos de aplicación actuales más relevantes de la robótica son:

2.2.1 Investigación - Exploración.

Donde los robots presentan la ventaja de resistir mejor los medioambientes hostiles para el ser humano.

2.2.2 Entretenimiento.

Esta industria se favorece del uso de robots para recrear situaciones ficticias o posibles, haciendo uso de los llamados "efectos especiales".

2.2.3 Construcción.

Industria en que ya se registran proyectos que incluyen el uso de robots como ejecutores de tareas de dimensionamiento, transporte y montaje, entre otras.

2.2.4 Automatización Industrial.

Es una de las aplicaciones más relevantes. Corresponde al uso de robots en la industria a fin de mejorar, agilizar y aumentar la producción en los diferentes procesos.

Robótica industrial

Se entiende por Robot Industrial a un dispositivo de maniobra destinado a ser utilizado en la industria y dotado de uno o varios brazos, fácilmente programable para cumplir operaciones diversas con varios grados de libertad y destinado a sustituir la actividad física del hombre en las tareas repetitivas, monótonas, desagradables o peligrosas. [6]

El RIA define al Robot como "Un manipulador multifuncional reprogramable, diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos variables programados para la performance de una variedad de

labores". Esta definición no abarca todas las posibilidades de aplicaciones presentes y futuras de los Robots.

Si bien no existen reglas acerca de la forma que debe tener un robot industrial, la tecnología incorporada a él está perfectamente establecida y en algunos casos ésta procede de las aplicadas a las máquinas-herramientas. Los desplazamientos rectilíneos y giratorios son neumáticos, hidráulicos o eléctricos. Los sistemas neumáticos no proveen movimientos precisos debido a la compresibilidad del aire y en ellos deben emplearse topes positivos para el posicionamiento, pero poseen una alta velocidad de operación manipulando elementos de reducido peso. Los accionamientos hidráulicos proporcionan elevadas fuerzas, excelente control de la velocidad y posicionamiento exacto. En cuanto a los sistemas eléctricos se utilizan motores de corriente continua o motores paso a paso.

Configuraciones de los robots industriales.

El campo de la robótica industrial puede definirse como el estudio, diseño y uso de robots para la ejecución de procesos industriales. Más formalmente, el estándar ISO (ISO 8373:1994, Robots industriales manipuladores) define un robot industrial como un manipulador programable en tres o más ejes multipropósito, controlado automáticamente y reprogramable.

Entre las características que identifican a un robot industrial se encuentran su volumen de trabajo y su configuración.

El volumen de trabajo de un robot se refiere, únicamente, al espacio dentro del cual puede desplazarse el extremo de su muñeca. Cuando se habla de la configuración de un robot industrial se está hablando de la forma física que se le ha dado al brazo del robot. Hay cuatro posibles **configuraciones o estructuras**:

Configuración Cartesiana.

La estructura cartesiana consta de tres articulaciones prismáticas, es decir, tres grados de libertad. Este tipo utiliza coordenadas cartesianas correspondientes a los ejes X, Y, Z (anchura, profundidad y altura) para situar un objeto en el espacio.

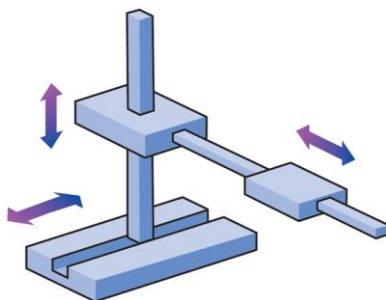


Figura 2.12. Movimiento según coordenadas cartesianas.

El volumen de trabajo de un robot de estructura cartesiana es regular y corresponde a una figura cúbica.

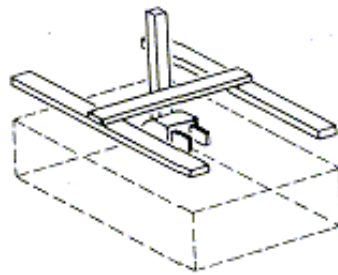


Figura 2.13. Volumen de trabajo cúbico.

Configuración cilíndrica.

La estructura cilíndrica consta de tres grados de libertad representados por dos articulaciones prismáticas y una giratoria. Este tipo de robots utiliza coordenadas cilíndricas para situar un objeto en el espacio.

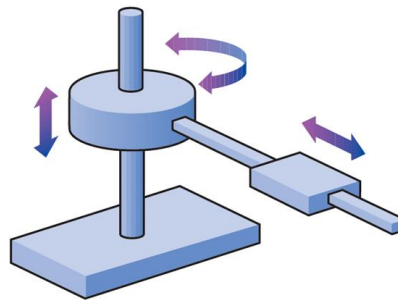


Figura 2.14. Movimiento según coordenadas cilíndricas.

Al igual que en el caso de la estructura cartesiana, la configuración cilíndrica también presenta un volumen de trabajo regular. Este volumen de trabajo se asemeja a la figura de un cilindro.

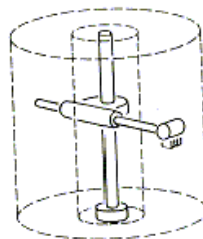


Figura 2.15. Volumen de trabajo cilíndrico.

Configuración esférica.

La estructura esférica: consta de una articulación prismática y dos giratorias. Este tipo de robots utiliza coordenadas polares para situar un objeto en el espacio.

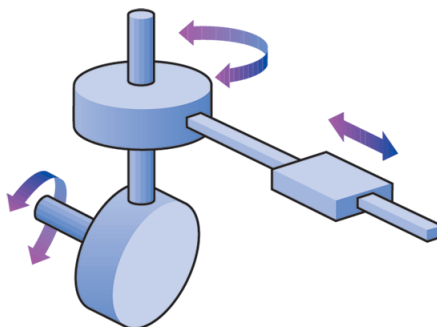


Figura 2.16. Movimiento según configuración esférica.

El volumen de trabajo de los robots con estructura esférica es irregular.

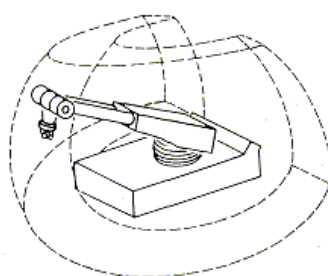


Figura 2.17. Volumen de trabajo irregular.

Configuración articulada.

La estructura articulada consta de tres articulaciones giratorias. Utiliza coordenadas polares para situar un objeto en el espacio y realiza movimientos similares a los de un robot con estructura esférica, mediante la combinación de tres giros. En muchas ocasiones algunas de las articulaciones no poseen la capacidad de rotar completamente, sino que su movilidad se ve reducida a un ángulo inferior a 360° . A esta configuración se la conoce como Configuración angular.

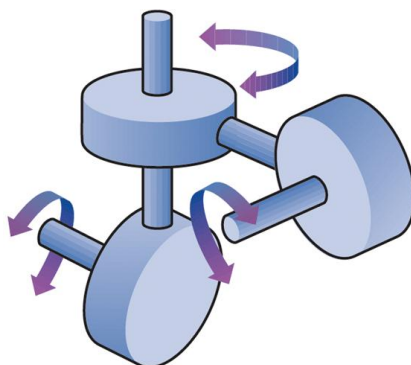


Figura 2.18. Movimiento según configuración articulada.

El volumen de trabajo de la configuración articulada, al igual que en el caso de la configuración esférica, describe una figura irregular, dependiente de sus articulaciones.

2.3 Clasificación de los robots.

Existen muchos tipos de clasificación para un robot. Una de las más conocidas es la determinada por su arquitectura. Pese a que la clasificación anterior es la más conocida, existen otras no menos importantes donde se tienen más en cuenta la potencia del software en el controlador, lo que es determinante de la utilidad y flexibilidad del robot dentro de las limitaciones del diseño mecánico y la capacidad de los sensores. A continuación se proponen cinco tipos de clasificaciones.

2.3.1 Clasificación de los robots según su arquitectura.

Androides:

Robots que se asemejan y actúan como los seres humanos. En la actualidad, aunque la ciencia en este campo está avanzando de manera vertiginosa, los androides reales solo existen en la imaginación y en las películas de ficción.



Figura 2.19. Androides "protagonistas" en la película *Yo robot*.

Móviles:

Los robots móviles están provistos de patas o ruedas que los capacitan para desplazarse de acuerdo a su programación. Elaboran la información que reciben a través de sus propios sistemas de sensores y se emplean en determinados tipos de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan en investigación.



Figura 2.20. Robot Móvil.

Zoomórficos.

Robots caracterizados principalmente por su sistema de locomoción que imita a diversos seres vivos. Los androides pueden ser considerados robots zoomórficos.



Figura 2.21. "Juguete robótico" de carácter zoomórfico.

Médicos.

Los robots médicos son, fundamentalmente, prótesis para discapacitados físicos que se adaptan al cuerpo y están dotados de potentes sistemas de mando. Con ellos se logra suplir las extremidades o incluso órganos de los seres humanos.



Figura 2.22. Prótesis robótica de una pierna.

Industriales.

Los robots industriales son artífices mecánicos y electrónicos destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación. Son en la actualidad los más frecuentes. En el anterior apartado, titulado *Robótica industrial*, se ha proporcionado más información acerca de este tipo de robots.



Figura 2.23. Brazo robot utilizado en la industria.

Teleoperadores

Hay muchos "parientes de los robots" que no encajan exactamente en la definición precisa. Un ejemplo son los teleoperadores. Dependiendo de cómo se defina un robot, los teleoperadores pueden o no clasificarse como robots. Éstos se controlan remotamente por un operador humano. Cuando pueden ser considerados robots se les llama "telerobots". Cualquiera que sea su clase, los teleoperadores son generalmente muy sofisticados y extremadamente útiles en entornos peligrosos, tales como residuos químicos y desactivación de bombas. Los robots teleoperadores son definidos por la NASA como: *"Dispositivos robóticos con brazos manipuladores y sensores con cierto grado de movilidad, controlados remotamente por un operador humano de manera directa o a través de un ordenador"*.



Figura 2.24. Telerobot en Marte.

Híbridos

Estos robots corresponden a aquellos de difícil clasificación cuya estructura se sitúa en combinación con alguna de las anteriores ya expuestas, bien sea por conjunción o por yuxtaposición. Por ejemplo, un dispositivo segmentado articulado y con ruedas, es al mismo tiempo uno de los atributos de los robots móviles y de los robots zoomórficos. De igual forma pueden considerarse híbridos algunos robots formados por la yuxtaposición de un cuerpo formado por un carro móvil y de un brazo semejante al de los robots industriales. En parecida situación se encuentran algunos robots antropomorfos y que no pueden clasificarse ni como móviles ni como andróides, tal es el caso de los robots personales.



Figura 2.25. Robot Híbrido.

2.3.2 Clasificación de los robots según su generación

Robots de 1ª Generación:

El sistema de control usado en la primera generación de robots está basado en la “paradas fijas” mecánicamente. Como ejemplo de esta primera etapa están los mecanismos de relojería que mueven las cajas musicales o los juguetes de cuerda.

Robots de 2ª Generación:

El movimiento se controla a través de una secuencia numérica almacenada en un disco o cinta magnética. Normalmente, este tipo de robots se utiliza en la industria automotriz y son de gran tamaño.

Robots de 3ª Generación:

Utilizan las computadoras para su control y tienen cierta percepción de su entorno a través del uso de sensores. Con esta generación se inicia la era de los robots inteligentes y aparecen los lenguajes de programación para escribir los programas de control.

Robots de 4ª Generación:

Se trata de robots altamente inteligentes con más y mejores extensiones sensoriales, para entender sus acciones y captar el mundo que los rodea. Incorporan conceptos “modélicos” de conducta.

Robots de 5ª Generación:

Actualmente se encuentran en desarrollo. Esta nueva generación de robots basará su acción principalmente en modelos conductuales establecidos.

2.3.3 Clasificación de los robots según su nivel de inteligencia

Podemos clasificar a los robots dentro de 6 clases según su nivel de inteligencia.

- Dispositivos de manejo manual, controlados por una persona.
- Robots de secuencia arreglada.
- Robots de secuencia variable, donde un operador puede modificar la secuencia fácilmente.
- Robots regeneradores, donde el operador humano conduce el robot a través de la tarea.
- Robots de control numérico, donde el operador alimenta la programación del movimiento, hasta que se enseñe manualmente la tarea.
- Robots inteligentes, los cuales pueden entender e interactuar con cambios en el medio ambiente.

2.3.4 Clasificación de los robots según su nivel de control.

Los programas en el controlador del robot pueden ser agrupados de acuerdo a su nivel de control.

- Nivel de inteligencia artificial, donde el programa aceptará un comando como "levantar el producto" y descomponerlo dentro de una secuencia de comandos de bajo nivel basados en un modelo estratégico de las tareas.
- Nivel de modo de control, donde los movimientos del sistema son modelados, para lo que se incluye la interacción dinámica entre los diferentes mecanismos, trayectorias planeadas, y los puntos de asignación seleccionados.
- Niveles de servosistemas, donde los actuadores controlan los parámetros de los mecanismos con el uso de una retroalimentación interna de los datos obtenidos por los sensores, y la ruta es modificada sobre la base de los datos que se obtienen de sensores externos. Todas las detecciones de fallos y mecanismos de corrección son implementadas en este nivel.

2.3.5 Clasificación de los robots según nivel de lenguaje de programación.

Los sistemas de programación se ubican dentro de tres clases:

- Sistemas guiados, en el cual el usuario conduce el robot a través de los movimientos a ser realizados.
- Sistemas de programación de nivel-robot, en los cuales el usuario escribe un programa de computadora al especificar el movimiento y el sensado.
- Sistemas de programación de nivel-tarea, en el cual el usuario especifica la operación por sus acciones sobre los objetos que el robot manipula.

2.4 Robots Bípedos.

Un robot bípedo se puede definir como un robot que dispone de dos piernas para su desplazamiento.

Una clasificación de los robots bípedos es atendiendo a su sistema de locomoción:

- Robot Bípedo Dinámico: Robot cuyo sistema de locomoción está basado en dos piernas y que es capaz de andar sin necesidad de interrumpir su avance.
- Robot Bípedo Estático: Robot cuyo sistema de locomoción está basado en dos piernas y que debe interrumpir su avance al andar para garantizar el equilibrio.

Otra posible clasificación se basa en el sistema de movilidad del robot bípedo. Según esta clasificación, los robots bípedos se dividen en tres clases:

- Pasivos: Aquellos que pueden caminar sin necesidad de ningún tipo de actuador. Los robots bípedos pasivos pueden lograr una caminata estable descendiendo por un plano inclinado con la única influencia de la atracción gravitatoria.

Su principal ventaja radica en que no requieren energía externa para caminar, pero su desventaja está principalmente en que su direccionalidad es limitada y en que es prácticamente imposible que puedan subir pendientes.

- Activos: Aquellos cuya caminata está directamente relacionada con sistemas complejos de control, así como con la utilización de diversos actuadores y sensores para realizar su cometido, permitiendo así desarrollar tareas complejas.
- Semiactivos: Aquellos que combinan las principales características de los dos tipos anteriores.

2.4.1 Ejemplos de robots bípedos pasivos.

Los robots humanoides siempre han despertado una gran fascinación en la comunidad científica y la población en general. Además, durante las próximas décadas se espera la inclusión de estas máquinas en nuestro día a día, ya sea para asistir al ser humano en ciertas tareas, como mano de obra, o simplemente como medio de entretenimiento.

Wabot, familia de robots bípedos de la Universidad de Waseda.

Tras años de trabajo, en 1973 un grupo interdepartamental de ingenieros de la Universidad Waseda de Tokio presentaron en sociedad a WABOT-1 (*WAseda roBOT*), el primer robot antropomórfico a escala real construido en el mundo. Podía comunicarse con una persona en japonés, calcular distancias y direcciones con la ayuda de receptores

externos, caminar lentamente apoyándose en sus extremidades inferiores e incluso coger y transportar pequeños elementos gracias a unas manos dotadas de sensores táctiles.

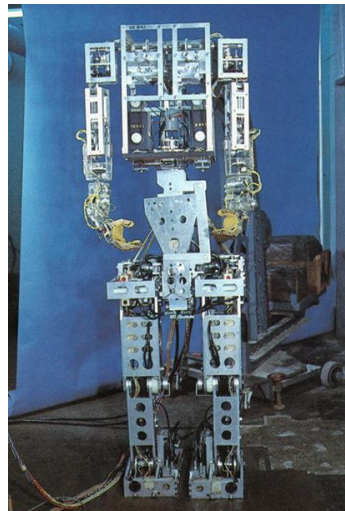


Figura 2.26. WABOT 1. Desarrollado por la universidad de Waseda.

En 1980 comenzó el desarrollo de la segunda versión de este robot, que finalmente no vio la luz hasta bien entrado el año 1984. Al igual que su predecesor, WABOT-2 contaba con un aspecto humanoide y podía recitar y entender algunas palabras en japonés, pero además era capaz de leer una partitura e incluso tocar una melodía de mediana dificultad con un sintetizador. De la misma manera que sucedió con su predecesor, en su momento fue considerado como el robot más avanzado del mundo. [7]



Figura 2.27. WABOT 2.

Aunque han pasado más de dos décadas desde que fuera presentado, las cosas que podía hacer siguen pareciendo excepcionales hoy en día, señal más que evidente de la avanzada tecnología que poseía.

WABIAN-2R, la evolución de la Universidad de Waseda.

Tras la creación de WABIAN-1 (Waseda Bipedal humanoid), en la universidad de Waseda se desarrolló en 2006 un nuevo robot capaz de andar, el WABIAN-2R. La novedad de este robot es que sus caderas pivotan y giran, para conseguir unos andares más parecidos a los humanos.

También han hecho que tenga las piernas más rectas que los robots bípedos anteriores. La mayoría de éstos, cuando andan, tienen las piernas ligeramente flexionadas para conseguir más estabilidad.



Figura 2.28. WABIAN-2R.

Del E0 al ASIMO, la evolución de robots bípedos de HONDA.

Si hay una compañía que ha apostado por el desarrollo y mejora de la tecnología necesaria para crear androides ha sido Honda. A día de hoy, el robot bípedo más conocido es el ASIMO, el fruto de dos décadas de investigación que tuvieron su inicio en 1986.

Fue en ese año cuando Honda creó el E0 (Experimental Model 0), un prototipo bípedo muy rudimentario que necesitaba de 5 segundos para completar un paso y que carecía del aspecto humano del que hace gala ASIMO, pero que fue la base sobre la que se cimentaron desarrollos posteriores.

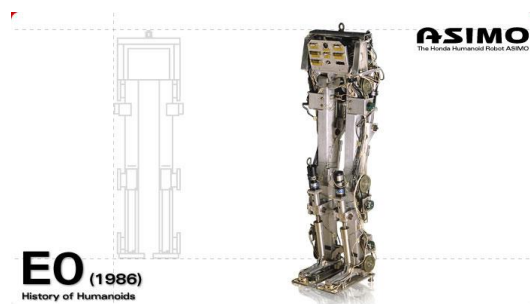


Figura 2.29. E0: primer prototipo bípedo de HONDA.

La siguiente generación de robots estuvo formada por los modelos E1, E2 y E3, desarrollados entre 1987 y 1991.

El E1 era capaz de caminar a 0,25 Km/h, lo que provocó que se atisbara una cierta distinción de movimiento entre ambas piernas. Por su parte, con el E2 el fabricante japonés fue un pasito más allá al crear el primer modelo que simulaba de manera más o menos realista el caminar humano, si bien es cierto que sólo podía alcanzar 1,2 Km/h. El E3, además de mejoras estéticas, podía caminar a 3 Km/h, velocidad similar a la desarrollada por el ser humano al andar.

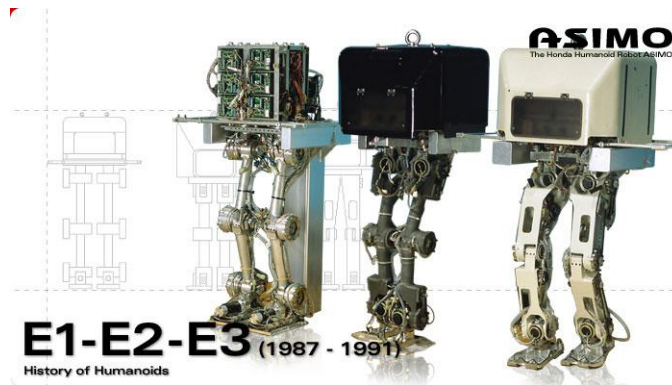


Figura 2.30. Modelos experimentales E1, E2 y E3.

Entre 1991 y 1993, tras lograr que los robots fueran capaces de simular la forma de andar humana y caminar a una velocidad similar, Honda desarrolló la tecnología necesaria para que además pudieran controlar el balanceo de su cuerpo y tuvieran la habilidad de avanzar sobre pisos en los que hubiera obstáculos simples. Esta generación de robots estuvo formada por los modelos E4, E5 y E6.

El E4 fue un prototipo experimental más ligero que sus predecesores que era capaz de desplazarse a 4,7 Km/h. El E5 no introdujo mejoras sustanciales en la forma de desplazarse, pero se convirtió en todo un hito al ser el primer modelo autónomo de la compañía japonesa.

Hubo que esperar hasta el E6 para que Honda consiguiera por primera vez que un robot fuera capaz de controlar los balanceos de su cuerpo, cualidad que le permitía subir y bajar escaleras y caminar sobre obstáculos.

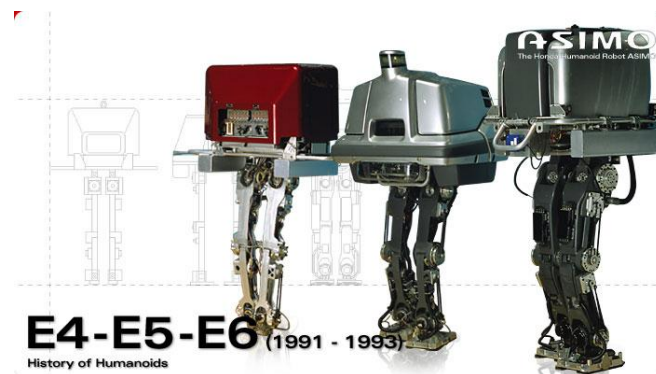


Figura 2.31. Tercera generación de robots de honda: E4, E5 y E6.

Ya en 1993, los prototipos de la firma japonesa eran capaces de caminar de manera autónoma y de sortear obstáculos simples, por lo que el siguiente objetivo de Honda fue crear robots con aspecto humanoide. Fue entre 1993 y 1997, en una nueva generación que estuvo formada por los modelos P1, P2 y P3 (Prototipe Model 1, 2 y 3).

Con una altura de 1,915 m y un peso de 175 Kg, el P1 se convirtió en el primer desarrollo que además de piernas tenía tronco, brazos y una cabeza. Eso supuso un salto cualitativo muy importante, ya que este robot no sólo caminaba, sino que además podía

encender y apagar interruptores, agarrar los pomos de las puertas e incluso llevar objetos gracias a sus extremidades superiores.

El P2 mejoró mucho desde el punto de vista estético, al mostrar un aspecto humanoide mucho más verosímil que su predecesor, pero sobre todo destacó por ser el primero en no necesitar cables para caminar, subir y bajar escaleras o empujar objetos. Gracias al uso de la tecnología wireless, este robot de 1,82 m de altura y 210 Kg de peso incorporaba en su espalda una mochila con un ordenador, un motor, una batería y una radio que se encargaban de hacer funcionar al conjunto.

Con un aspecto más liviano, desenfadado y atractivo, el P3 fue el robot que introdujo la estética ASIMO. Con 1,60 m de altura y 130 Kg, se convirtió en el primer modelo completamente independiente de la serie y permitió a Honda presentar al gran público un prototipo visualmente muy atractivo con el que atrajo la atención de millones de personas.

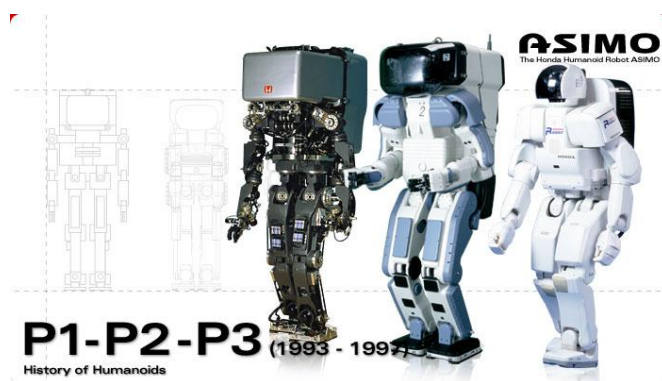


Figura 2.32. Prototipos P1, P2 y P3.

Honda presentó en el año 2000 la primera versión del popular ASIMO, un robot que medía sólo 1,2 m de altura y había rebajado su peso hasta los 52 Kg. Era capaz de caminar a 1,6 Km/h, podía permanecer en funcionamiento durante 30 minutos seguidos y sus baterías necesitaban de 4 horas para recargarse por completo.

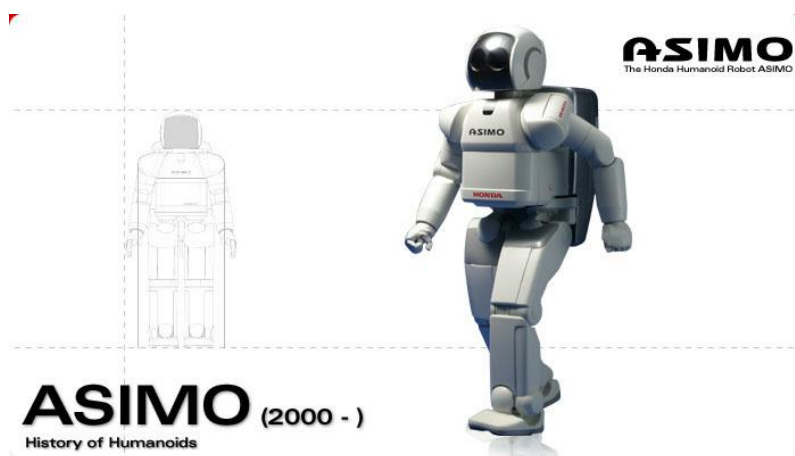


Figura 2.33. Robot ASIMO.

En 2004 llegó la siguiente generación del robot ASIMO, que había crecido hasta 1,30 metros de altura y había visto incrementado su peso ligeramente hasta los 54 Kg. Pero si por algo destacaba era porque podía caminar a 2,5 Km/h y correr a 3 Km/h, mantenerse en funcionamiento ininterrumpido durante 1 hora y 40 minutos y necesitaba 3 horas para recargarse.

La versión del ASIMO que presentó Honda en el año 2005. Tiene el mismo tamaño que el prototipo del 2004, pero es capaz de caminar a 2,7 Km/h (1,6 Km/h en caso de llevar un objeto de 1 Kg) y correr a 6 Km/h en línea recta y 5 Km/h en círculos.

La evolución de ASIMO para el año 2007 consigue que trabaje en equipo con otros robots como él, y le dota de un movimiento avanzado tal que le permite caminar cómodamente entre personas.

La última versión hasta la fecha de ASIMO es la presentada en abril del año 2009, capaz de ser controlado por una persona mediante un dispositivo ICC (interface computadora cerebro) con un 90,6% de aciertos. La precisión depende de la capacidad de concentración del individuo, entre otros factores. A día de hoy, HONDA sigue invirtiendo en la evolución de ASIMO. [8]

Robots Humanoides de la Universidad de Tokio.

H6 y H7 son robots humanoides construidos por la Universidad de Tokio. H6 mide 137cm de alto y 59cm de ancho, y tiene 35 grados de libertad. Su peso es de 55kg. Gracias al uso de tecnología de aeronaves en el armazón del cuerpo, lo que le proporcionó una estructura fuerte y liviana. H6 y H7 pueden caminar hacia arriba y hacia abajo por escalones de 25cm de alto y pueden reconocer rostros humanos.



Figura 2.34. H6

Johnnie, robot alemán.

JOHNNIE es un robot bípedo antropomorfo autónomo construido por la Universidad Técnica de Munich. Es capaz de caminar sobre superficies parejas o desparejas y en curvas. Posee 17 transmisiones de tipo Harmonic Drive y puede caminar aproximadamente a 2 km/h.

QRIO, robot bípedo de SONY

QRIO es un pequeño humanoide capaz de andar y moverse con mucha facilidad y naturalidad. Su primera aparición fue en el año 2002, pero las continuas evoluciones que SONY realiza a este robot humanoide llegan hasta el año 2005. [9]



Figura 2.35. QRIO, de SONY.

Entre sus características se encuentran las siguientes:

- Es capaz de caminar sobre dos piernas incluso por superficies irregulares y rugosas.
- Se pone de pie tras una caída.
- Tiene sentido del equilibrio y detecta fuerzas externas (balancines).
- Equipado con 7 micrófonos es capaz de reconocer voces y su procedencia.
- Sus ojos son dos cámaras que le dotan de visión estereoscópica (le permite calcular la distancia y la posición de los objetos).
- Puede mantener conversaciones y utiliza lenguaje corporal para expresarse.
- Conectable a Internet por wireless.

HRP-2P, prototipo de la universidad de Kawada.

Kawada Industries Inc. Presentó en 2004 el prototipo de su robot humanoide, HRP-2P.

HRP-2P mide 154 cm de alto y pesa 58 kg (incluyendo las baterías). Tiene 30 grados de libertad y el diseño de sus caderas y entrepierna le permite caminar en lugares estrechos. Se ha empleado en su diseño electrónica de alta densidad, lo que permite que en una pequeña "mochila" se integren la electrónica, ordenadores y baterías necesarios para su funcionamiento.



Figura 2.36. Prototipo HRP-2P.

Todo el sistema del robot fue diseñado e integrado por Kawada Industries, Inc. junto con el Grupo de Investigación Humanoide del Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Industrial Avanzada de Japón.

Rh-1, Robot humanoide desarrollado en la Universidad Carlos III de Madrid.

En 2004 nació el predecesor del actual Rh-1, el Robot Humanoide 0. Tras dos años de investigación, en 2006 el proyecto Rh-0 se transformó en el prototipo Rh-1. A día de hoy ya se está trabajando en las mejoras del aparato para diseñar el Rh-2, un robot que se espera pueda llegar a subir y bajar escalones, transportar objetos, etc.

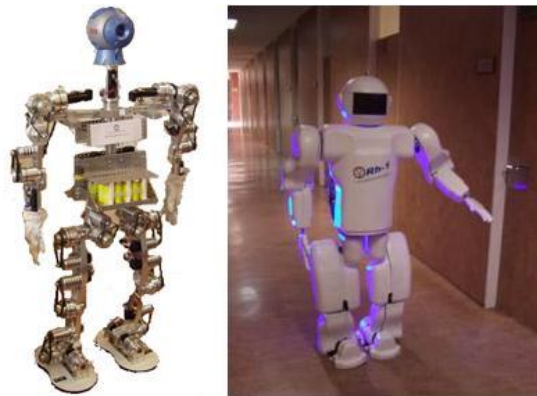


Figura 2.37. RH1 junto a su Predecesor, RH-0.

Su sistema de visión artificial y la telemetría láser le permiten analizar el entorno y desplazarse por el mismo, aunque los investigadores están trabajando para mejorar sus prestaciones.

La versión actual tiene una autonomía de 30 minutos gracias a sus baterías, que alimentan las dos computadoras que RH1 esconde en su interior y que le evitan depender de una unidad de proceso externa. Los investigadores del Robotics Lab están trabajando en un sistema de control más robusto para aumentar la autonomía, así como en componentes electrónicos más compactos o mejoras estructurales en las articulaciones que más se mueven.

PASIBOT, el comienzo de un proyecto.

Se trata de un diseño de robot bípedo aún en estudio formado por mecanismos clásicos.

Este proyecto se engloba dentro del marco de colaboración entre el MAQLAB (grupo del Laboratorio de Máquinas) de la Universidad Carlos III de Madrid y el LARM (Laboratorio de Robótica e Meccatrónica) de la Universidad de Cassino de Italia, consistente en el diseño y fabricación de robots.





Capítulo 3

Selección del mecanismo



3.1 Planteamiento y planificación.

Para conseguir una primera aproximación al modelo de robot bípedo deseado, se ha elegido el programa llamado “Working Model 2D”. Con dicho programa se procede a la obtención de una de las patas del robot, así como su simulación y comprobación. Con esta técnica se elige la disposición de los eslabones y pares cinemáticos, en definitiva, la composición mecánica de la pata, cerciorándose que la cinemática del mecanismo es la deseada.

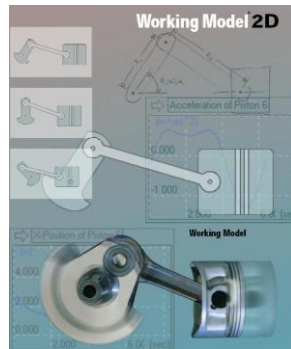


Figura 3.1. Imagen presentación Working Model 2D

Este estudio en 2D es primordial, ya que se puede verificar de una manera rápida, sencilla y eficaz cual va a ser la trayectoria del prototipo, excluyendo ideas, reajustando dimensiones y realizando cambios en el planteamiento de pre-diseño inicial.

La versión Utilizada para realizar el proyecto es Working Model 2D versión 4.1, el motivo de la elección de esta versión es que se cuenta con licencia académica. Esta versión cuenta con todas las características necesarias para la realización del proyecto.

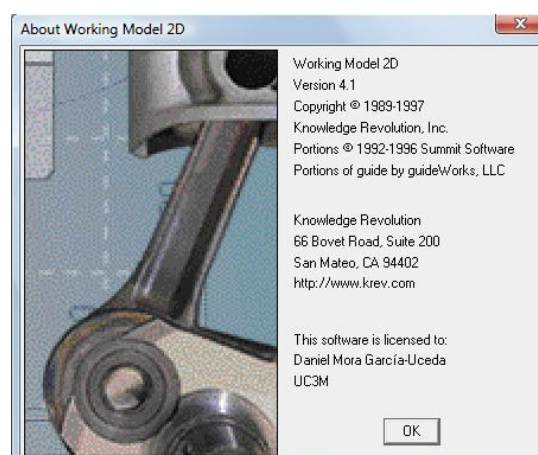


Figura 3.2. Pantalla de información Working Model.

A través del programa también se pueden conocer datos sobre la cinemática del prototipo, tales como la posición y velocidad de los centros de masas de los eslabones (o de cualquier otro punto anteriormente definido). Estos datos se utilizan para evaluar el prototipo.

Los datos arrojados por el programa se procesan a través del programa *Microsoft Excel* en su versión 2007. Esta hoja de cálculo permite manejar una cantidad grande de datos numéricos de una forma sencilla y eficaz. A través de él se obtienen todas las gráficas presentes en este proyecto.

El procedimiento que se va a seguir para el desarrollo del modelo de una de las patas es el siguiente:

- Elección de un modelo inicial, mediante un boceto “a mano alzada” basado en la estructura del *Minibiped*, decidiendo el número de eslabones y determinando el conjunto de pares cinemáticos. En definitiva, construyendo un mecanismo con el que pueda dar comienzo el estudio.
- Reproducción del boceto elegido en Working Model. Más adelante se especifica la forma de dibujado, en una introducción a dicho programa.
- Estudio de los grados de libertad del mecanismo. Si el mecanismo propuesto no tiene exactamente 1 grado de libertad, se debe modificar, añadiendo o suprimiendo restricciones o eslabones, según sea necesario.
- Simulación del mecanismo a través de Working Model, extrayendo los datos necesarios para su posterior estudio.
- Estudio, representación y conclusiones de los resultados obtenidos con la simulación. En este punto se decide si el prototipo es válido para seguir adelante o, por el contrario, requiere modificaciones.
- Repetición de los pasos anteriores en caso de que la simulación no arroje resultados deseados.

Una vez se haya conseguido el prototipo deseado, se procederá a un análisis más exhaustivo del mismo, usando herramientas del programa *Working model 2D*, reseñando las partes del mecanismo con más importancia.

El Diagrama de flujo representado en la Figura 3.3 simboliza el método iterativo plasmado con anterioridad, por el cual se puede seguir la evolución del planteamiento diseño en 2D hasta conseguir el mecanismo que presente unos resultados acordes a los objetivos del proyecto.

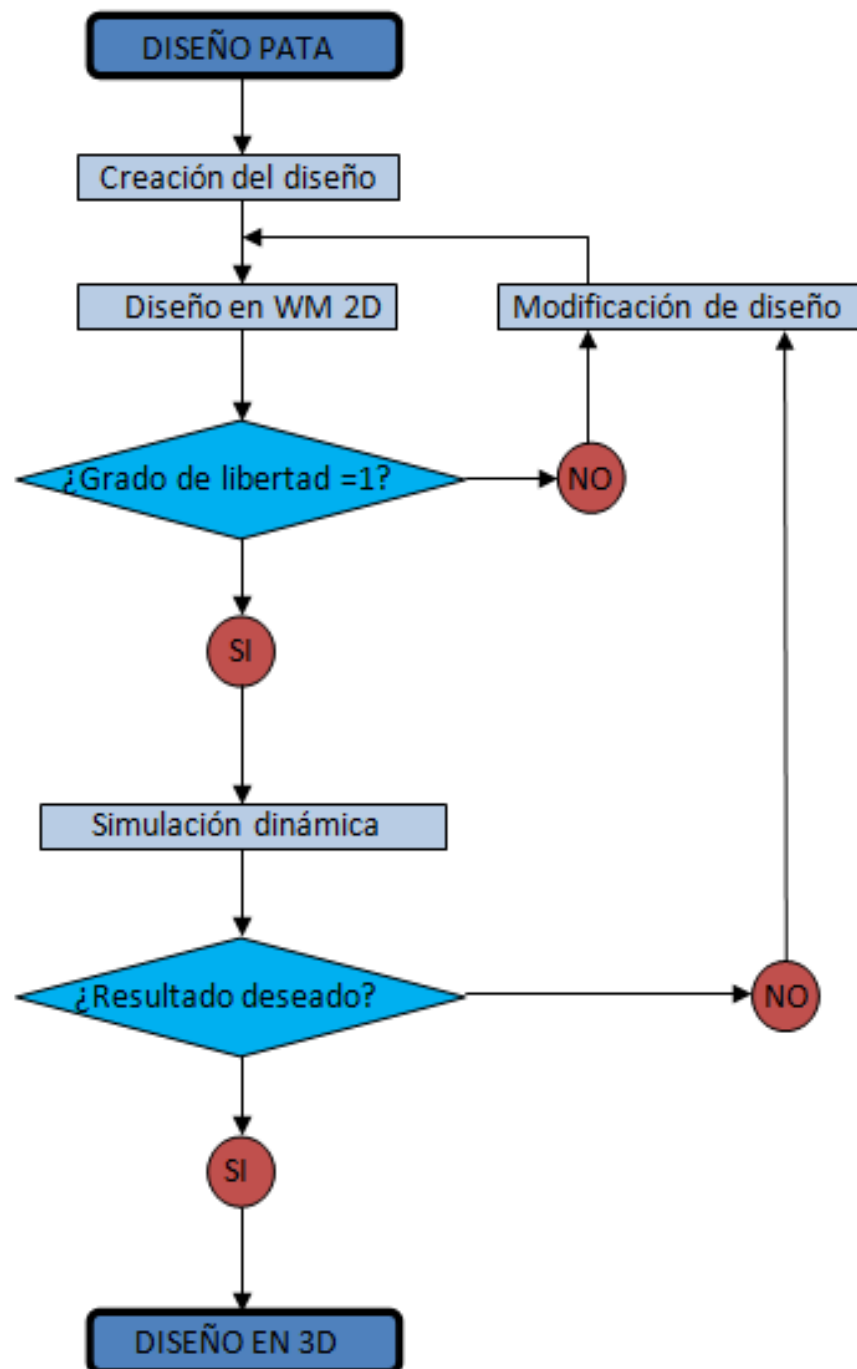


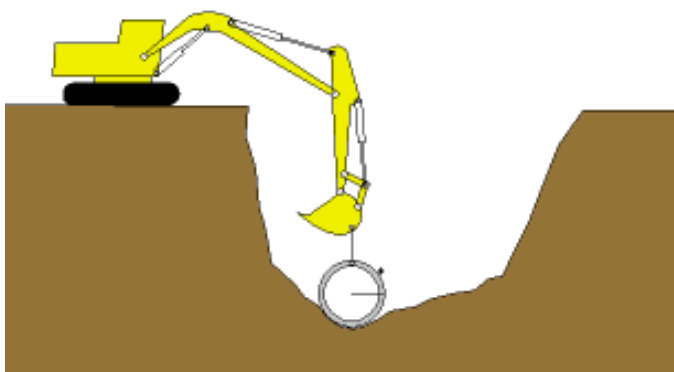
Figura 3.3. Diagrama de flujo del desarrollo del modelo en 2D.

3.2 INTRODUCCIÓN AL WORKING MODEL 2D.

3.2.1 ¿Qué es Working Model?

La herramienta Working Model es un simulador de movimiento en dos dimensiones que proporciona una visión clara y rápida de cualquier diseño dinámico.

Working Model es una herramienta de CAE¹ que permite crear simulaciones de sistemas mecánicos reales que permiten reducir el tiempo de creación de un producto, mejorando la calidad final y optimizando los cálculos. Es una herramienta adoptada por miles de ingenieros profesionales para crear y analizar los sistemas mecánicos reales. [10]



3.4. Ejemplo de diseño en Working Model 2D.

3.2.2 Historia del Working Model.

Working Model es la evolución de otro programa denominado *Interactive Physics*. Ambos programas fueron creados por la compañía MSC Software Corporation. *Interactive Physics* fue nombrado por primera vez en el año 1989. Anteriormente era conocido con el nombre de *Knowledge Revolution* que a su vez pasó a llamarse *Fun Physics* en 1988 y finalmente a *Interactive Physics* en 1989. Actualmente se distribuye en todo el mundo en siete idiomas y es un estándar en la simulación de movimiento para la física newtoniana. La última versión de IP fue creada en el año 2000.

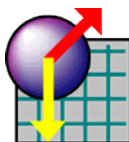


Figura 3.5. Logo Interactive Physics

¹ CAE = Ingeniería asistida por ordenador (Computer-Aided- Engineering)

El programa Working Model fue publicado por primera vez en 1993 para la Comunidad de ingeniería. Fue creado mediante la adición de funcionalidades de ingeniería a Interactive Physics e importando dibujos DXF de los paquetes de CAD, como Auto CAD.

El programa pasó a llamarse Working Model 2D en el año 1996 con el lanzamiento de la cuarta versión. La última versión de Working Model 2D fue creada en el año 1999.



Figura 3.6. Logo Working Model

La versión del programa Working Model 3D llegó a denominarse así en el año 1996.

Cuando la compañía MSC Software Corporation adquirió Knowledge Revolution en 1999, la capacidad dinámica FEA fue añadida al programa y nació el Working Model 4D.

La última versión de Working Model que apareció en el mercado data del año 2005.

3.2.3 Últimas versiones de Working Model (versiones en 2D)

Working Model 3.0
Working Model 2D 4.0
Working Model 2D 5.0
Working Model 2D 5.2
Working Model 2004.
Working Model 2005.

3.2.4 Características y áreas de aplicación.

A lo largo de los años, Working Model ha ido evolucionando hasta convertirse en una de las herramientas de CAD más populares. A lo largo de sus numerosas versiones, ha ido adquiriendo características acorde a la demanda tecnológica del momento.

Características principales

Sus peculiaridades más interesantes son:

Comprueba múltiples características de cualquier sistema mecánico.
Realiza un refinado rápido de las simulaciones en base a las constantes predefinidas.

Analiza el último diseño midiendo fuerza, par, aceleración, etc. E interaccionando con cualquier objeto.
Importa los dibujos CAD en 2D en formato DXF.
Permite la entrada de valores desde: ecuaciones, barras deslizantes o conectores DDE a Matlab y Excel.
Realiza simulaciones no lineales.
Permite la creación de cuerpo y puede definir propiedades, velocidad inicial, cargas electrostáticas, etc.
Simula contactos, colisiones y fricción.
Ejecuta o edita 'scripts' para optimizar la simulación o documentar modelos.
Graba los datos de la simulación y crea gráficos de barra o vídeos en formato AVI.

Otras características.

Propiedades de los cuerpos y características:

Tipos de cuerpos: círculos, rectángulos, polígonos y cuerpos suaves.
Masa, densidad, geometría, centro de masa, momento de inercia, velocidad y velocidad angular, carga electrostática y más.
Seguimiento de la trayectoria del movimiento de los cuerpos.
Detección y respuesta automática de colisiones.
Aplicación automática de fricción estática y cinética.

Restricciones²:

Articulaciones con ranura, clavijas, rígidas, curvas y con cerrojo.
Barras, sogas, poleas y engranajes.
Resortes y amortiguadores lineales y rotatorios.

Generadores de movimiento³:

Motor.
Actuador.
Fuerza.
Torca.

Sistemas de unidades y fórmulas:

SI, Inglés, CGS y definido por el usuario.

Parámetros medibles:

Posición.
Velocidad.
Aceleración.
Momento.
Momento angular.

² Las restricciones pueden ser definidas numéricamente o por ecuaciones en el editor de fórmulas o con datos en tablas.

³ Los generadores de movimiento, al igual que las restricciones, pueden ser definidos numéricamente o por ecuaciones en el editor de fórmulas o con datos en tablas.

Fuerza y torca.
Gravedad, electrostática y fuerza del aire.
Energía cinética, potencial gravitatorio.

Registra y despliega datos de las simulaciones en tiempo real con medidores gráficos y digitales.

Control de simulaciones:

Ejecutar, detener, reajustar, por pasos o pausar la simulación en cualquier momento.

Control de la precisión de la simulación a través del intervalo de integración y animación así como la configuración de tolerancia.

Superposición de múltiples simulaciones.

Controles interactivos:

Conexión DDE con Excel y Matlab.

Lenguaje para guiones estilo “Visual Basic” con herramientas de depuración.

Botones para Menús y guiones.

Modalidad de “reproducción” para la creación de contenidos.

Visualización:

Seguimiento de la trayectoria del movimiento de un cuerpo o su centro de masas.

Adjuntar imágenes a los cuerpos.

Rotación de imágenes sobre cuerpos.

Despliegue del centro de masa del sistema.

Marcos de referencia múltiple.

Guiones:

Optimizar.

Crear restricción.

Documentar modelo.

Acercar a la extensión.

Medir distancia entre puntos.

Girar polígono.

Ejecución múltiple de archivos.

Fricción de clavija.

Fricción de ranura.

Amortiguador de ranura.

Flexbeam.

Momento de ruptura y curvatura.

Salida:

Archivos de vídeo AVI.

Datos de los medidores a archivos de datos en forma de tablas.

Impresión

Imprimir una imagen de la simulación o datos de los medidores.

Requerimientos del sistema para Working Model⁴:

Microsoft Windows NT 4.0 o Windows 95/98/Me/2000/XP.
PC Pentium.
16MB RAM mínimo.
Tarjeta de vídeo y monitor con capacidad mínima de color en 16-bit.
Unidad de CD-ROM.

Características incluidas en las versiones más avanzadas

En las últimas versiones de Working Model se ha incluido una gran variedad de actualizaciones y características. Muchas de ellas tienen como finalidad la compatibilidad con nuevos software, ya sean de carácter Industrial (programas como las nuevas versiones auto CAD o Solid Works entre otros) o de otro tipo de aplicaciones (Microsoft Excel, Windows Media Player, etc.)

Las características principales que se pueden observar en las nuevas versiones de Working Model son las siguientes:

Importación de modelos complejos en formato DXF.
Nuevo tipo de formato de archivo denominado 'wmsd', para evitar conflictos con Windows Media Player.
La configuración se puede guardar en un disco.
Nuevas librerías DLL que mejoran la precisión de los cálculos.
Pueden incluirse sonidos en la simulación en formato WAV.
Se incluye una nueva librería de imágenes en formato BMP.
Demostración introductoria paso a paso para usuarios noveles.
Exporta simulaciones al formato de vídeo AVI para las presentaciones.
Idiomas disponibles para la versión Windows: inglés, francés, alemán, italiano, japonés, portugués, castellano.
DC Motor y DC Actuador. Modele DC Motor y DC Actuators con los siguientes parámetros: Resistencia Motor (R), Inductancia Motor (L), Motor Back-EMF Velocidad Constante (Kv), Fuerza/Par motor Constante (Km) y Motor Input Voltaje (Vi).
Generis Coord-to-Coord Constraint. Es una poderosa herramienta para usuarios avanzados muy útil para combinar propiedades y medidas de diferentes dispositivos productores de Par, incluyendo resortes torsionales, apagadores torsionales, motores de Par, fricción rotatoria y Pares.
Generis Point-to-Point Constraint. Es una poderosa herramienta para usuarios avanzados muy útil para combinar propiedades y medidas de barras, cuerdas, separadores, resortes, apagadores, actuadores y fuerzas.
Importador DXF desde versión 12 hasta 2000. Adicionalmente, DXF importa automáticamente ciertas conversiones desde arcos y segmentos de línea hasta polígonos.
Asignación dinámica de memoria para objetos. Con asignación dinámica de memoria, el número de cuerpos, constantes, puntos, entradas, y salidas usadas en una simulación está limitado únicamente por la memoria del PC.

⁴ Requerimientos para la versión utilizada: Working Model 2D 4.1

Interface de usuario actualizada. Mejoras que permitirán un trabajo más sencillo y rápido, como nuevos colores para cuerpos, nuevas gráficas y opciones gráficas, nuevo DC Motor y DC actuador, etc.

Capacidades gráficas mejoradas. Nuevas características que le permitirán controlar mejor sus diseños gráficos.

Los valores instantáneos del vector se pueden exhibir. El valor de varios vectores y sus componentes se pueden mostrar en pantalla. Los valores del vector cambian dinámicamente a medida que la simulación corre y proporciona un excelente feedback sobre la magnitud y dirección de los vectores.

El color de los cuerpos puede ser ligado a una fórmula y variar con el tiempo, la velocidad, la fuerza, etc.

Capacidad de sentir el movimiento y/o la colisión a través de un ratón “force-feedback” o a través de un joystick.

Áreas de aplicación.

Educación: simulación de todo tipo de problemas mecánicos.

Ingeniería mecánica y eléctrica.

CAD: diseño de sólidos en movimiento.

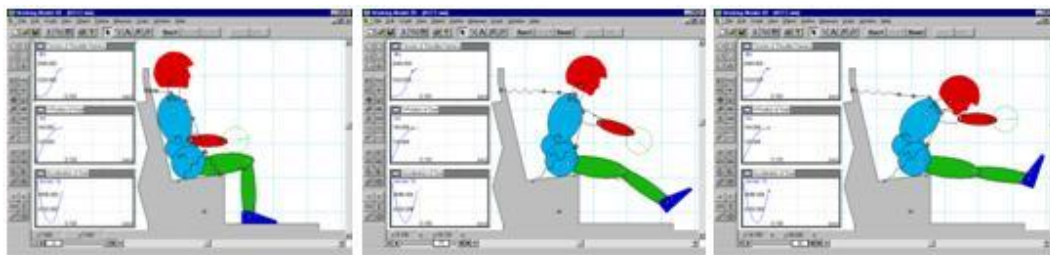


Figura 3.7. Secuencia de simulación de movimiento en Working Model.

3.2.5 Información sobre el fabricante

El fabricante de Working Model, MSC Software Corp., es una empresa americana especializada en productos de simulación. Cuenta con motores de simulación propios que se pueden aplicar a casi todo tipo de problemas de simulación industriales. Esta empresa cuenta con más de 1.200 empleados en 22 países que se encargan de realizar proyectos de simulación a medida, ingeniería a través de la Web, etc. Sus productos se destinan a la industria aeronáutica, automoción, informática, electrónica y educación.

3.3 Estudio de Prototipos

La decisión del primer mecanismo es fundamental. A partir de este primer prototipo, se van añadiendo modificaciones en función a los resultados obtenidos.

Una vez se tenga el primer prototipo, se estudia EL número de eslabones y sus grados de libertad. Si el grado de libertad es distinto a 1, entonces se debe modificar el mecanismo, hasta llegar al resultado deseado.

Cuando se haya llegado a un mecanismo con grados de libertad igual a uno, se analiza el mecanismo con Working Model 2D hasta encontrar un prototipo de pata que arroje datos cinemáticos adecuados.

3.3.1 Criterio para el cálculo de grados de libertad.

El estudio del grado de libertad del prototipo se va a realizar mediante el **criterio de Grübler-Kutzbach**. [18]

Los grados de libertad son el número mínimo de velocidades generalizadas independientes necesarias para definir el estado cinemático de un mecanismo o sistema mecánico. El número de grados de libertad coincide con el número de ecuaciones necesarias para describir el movimiento.

Para un mecanismo plano cuyo movimiento tiene lugar sólo en dos dimensiones, el criterio de Grübler-Kutzbach expresa que el cálculo del número de grados de libertad del mismo se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$m = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2$$

Donde:

m , movilidad (grados de libertad).

n , número de elementos (eslabones, barras, piezas, etc.) de un mecanismo.

j_1 , número de uniones o pares cinemáticos de 1 grado de libertad.

j_2 , número de uniones o pares cinemáticos de 2 grados de libertad.

Importante: esta fórmula es válida SÓLO en el caso de que NO EXISTAN ENLACES REDUNDANTES, es decir, enlaces que aparecen físicamente en el mecanismo pero no son necesarios, o se encuentran repetidos, para el movimiento de éste. Para poder emplear el criterio, DEBEMOS ELIMINAR LOS ENLACES REDUNDANTES y calcular entonces los grados de libertad del mecanismo.

Todas las partes fijas se engloban como el primer elemento. Aunque el grado de libertad de algunas uniones es fácil de visualizar, en otras ocasiones se pueden cambiar por sistemas equivalentes.

3.3.2 Variables del prototipo.

Para el prediseño del prototipo en Working Model, se han usado dimensiones y velocidades que se adapten fácilmente al programa, con la finalidad de que la simulación facilite datos de fácil manejo. Así pues, los prototipos diseñados en Working Model, tienen todos una altura total aproximada de entre 250mm. y 300mm. La anchura de los eslabones varía entre 2 y 4mm.

La velocidad impuesta al motor para las simulaciones de los prototipos, en el caso de que existan, es de 180°/s.

El estudio en Working Model se basa en un modelo iterativo, desarrollando una cantidad numerosa de mecanismos, los cuales varían mínimamente entre sí. En el proyecto se exponen 5 de estos prototipos, que identifican la evolución del mecanismo a lo largo de todo el estudio.






3.3.3 Símbolos en los prototipos

Antes de comenzar con el estudio de los diferentes prototipos propuestos, conviene realizar un pequeño resumen de los símbolos que aparecen en las imágenes de los prototipos, junto con su significado.

- Par cinemático de rotación. Es un tipo de unión entre dos eslabones. Un par cinemático de rotación permite el giro relativo entre los eslabones en el eje perpendicular al plano.
- Par cinemático de traslación. Es la unión entre eslabones que permite el movimiento lineal entre ellos en una sola dirección. Dicha dirección se ve representada por un “surco” colineal al eslabón que ejerce de deslizadera.
- Apoyo. Elemento de unión entre el eslabón 0 o eslabón tierra. Este tipo de unión restringe totalmente el movimiento lineal, pero permite el giro perpendicular al plano.
- Motor angular. Responsable del movimiento del mecanismo. A un apoyo se le acopla un elemento que genera un movimiento giratorio sobre un eslabón.
- Punto fijo. Dispositivo de unión entre elementos que restringe totalmente el movimiento entre dichos elementos.

En la tabla siguiente se determinan las imágenes representativas de cada símbolo explicado anteriormente.

Tabla 3-1. Símbolos representativos de los prototipos en Working Model.

Nombre	Par cinemático rotación	Par cinemático traslación	Apoyo	Motor angular	Punto fijo.
Símbolo					

3.3.4 Prototipo 1.

El primer prototipo planteado, en torno al cual se va a comenzar las modificaciones hasta encontrar el prototipo final, se puede ver en la Figura 3.8, donde se identifican los eslabones.

En este primer prediseño se ha querido representar un mecanismo con cierto parecido al *Minibiped* y, en definitiva, a una pierna humana. Se puede observar como la cadera, que se encuentra representada por el eslabón 1, tiene restringido el movimiento vertical a través de una deslizadera que únicamente le permite el movimiento lineal-horizantal.

Adicionalmente, para intentar conseguir el movimiento cíclico deseado, se ha restringido el giro completo que se obtendría de un motor posicionándolo en el eslabón 13. Para ello se usa el cuadrilátero articulado formado por los eslabones 13, 14 y 15. El motor del prototipo se coloca en el par cinemático 0-15.

La rodilla está representada por el eslabón 6. Se pretende que el eslabón 2 y el 7, ambos unidos al eslabón 6, simulen un movimiento relativo lo más parecido posible al movimiento entre la tibia y el fémur, en un paso humano.

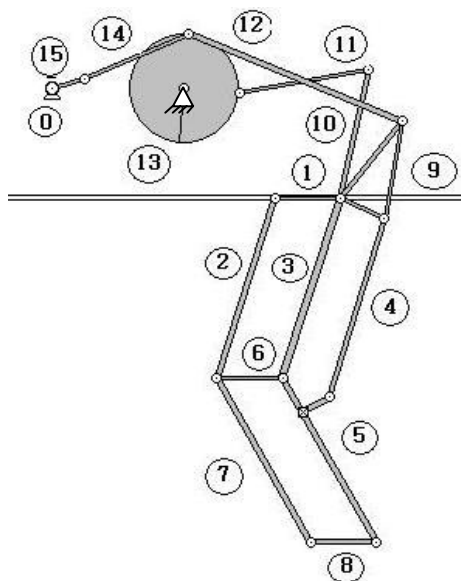


Figura 3.8.Eslabones de prototipo 1.

Cálculo de g.d.l.

El número total de eslabones es **16** (15 eslabones y el eslabón *Tierra*)

Tal y como se explica en el apartado 3.3.1, para poder aplicar el criterio de Grübler- Kutzbach, hay que identificar las uniones o pares cinemáticos, y obviar los redundantes.

Por ejemplo, si se identifica como pares cinemáticos las uniones entre los eslabones 13-14 y 12-13, entonces la unión 12-14 es una unión redundante, es decir, es un enlace físico, pero su movimiento ya está identificado por los pares cinemáticos 13-14 y 12-13.

Siguiendo este criterio, se pueden identificar **21** pares cinemáticos: 20 pares cinemáticos de rotación y 1 par cinemático de traslación.

Tabla 3-2. Pares cinemáticos prototipo 1.

Par cinemático	Tipo	Par cinemático	Tipo
0-1	Traslación	4-9	Rotación
0-13	Rotación	5-8	Rotación
0-15	Rotación	7-8	Rotación
1-2	Rotación	9-10	Rotación
1-9	Rotación	9-12	Rotación
2-6	Rotación	10-11	Rotación
2-7	Rotación	11-13	Rotación
3-5	Rotación	12-13	Rotación
3-6	Rotación	13-14	Rotación
3-9	Rotación	14-15	Rotación
4-5	Rotación		

Aplicando el Criterio de Grüebler- Kutzbach:

$$m = 3 \cdot (16 - 1) - 2 \cdot 21 = 3 \text{ g.d.l}$$

Este resultado quiere decir que el mecanismo necesita 3 ecuaciones para definirlo. En este proyecto se busca un mecanismo cuyo movimiento esté definido por una única velocidad y, por lo tanto, quede definido con una sola ecuación.

Por lo tanto, **el prototipo 1 NO ES VÁLIDO** para este estudio.

3.3.5 Prototipo 2.

Este prototipo es similar al prototipo 1, pero al que se ha añadido algún tipo de restricción para así disminuir el número de grados de libertad.

En este caso, se ha restringido el movimiento relativo entre los eslabones 10 y 11, pasando a formar un único eslabón.

Para analizar este nuevo prototipo se redefinen los eslabones, numerándolos de nuevo, y se vuelve a calcular los grados de libertad. En la Figura 3.9 se identifican nuevamente los eslabones que forman el nuevo mecanismo.

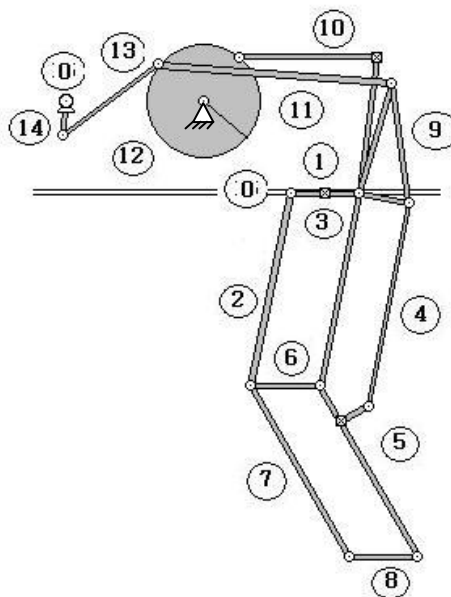


Figura 3.9. Eslabones de prototipo 2.8

Cálculo de g.d.l.

Como se puede observar en la Figura 3.9, el número total de eslabones se ve reducido en uno, por lo tanto, para este diseño el número de eslabones es **15**.

El número de pares cinemáticos, eliminando los redundantes, se ve reducido también en uno. El número de pares cinemáticos para el cálculo es de **20**.

Tabla 3-3. Pares cinemáticos prototipo 2.

Par cinemático	Tipo	Par cinemático	Tipo
0-1	Traslación	3-9	Rotación
0-12	Rotación	3-10	Rotación
0-14	Rotación	4-5	Rotación
1-2	Rotación	4-9	Rotación
1-3	Rotación	5-8	Rotación
1-9	Rotación	7-8	Rotación
2-6	Rotación	9-11	Rotación
2-7	Rotación	10-12	Rotación
3-5	Rotación	12-13	Rotación
3-6	Rotación	13-14	Rotación

Por lo tanto:

$$m = 3 \cdot (15 - 1) - 2 \cdot 20 = 2 \text{ g.d.l.}$$

Aunque se ha reducido los grados de libertad del mecanismo, todavía no es suficiente, por lo que hay que introducir otro tipo de restricción o plantear un cambio en el diseño, para reducir un grado de libertad más.

El prototipo 2 NO ES VÁLIDO.

3.3.6 Prototipo 3.

En esta ocasión se ha optado por cambiar a permanente la unión que existía en el prototipo 2, entre los eslabones 10 y 3. Con este cambio se convierten los eslabones 3 y 10 en un único eslabón.

Con las nuevas modificaciones, el prototipo debe redefinirse, identificando numéricamente todos los eslabones. La nueva configuración de los eslabones que forman el mecanismo correspondiente al Prototipo 3., es la siguiente:

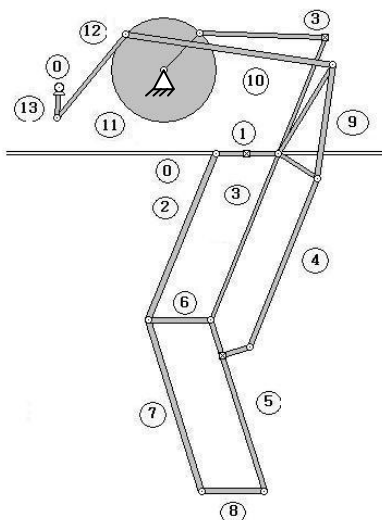


Figura 3.10. Eslabones prototipo 3.

Cálculo de g.d.l.

El número de eslabones del nuevo prototipo es de **14** y el número de pares cinemáticos aptos para el cálculo es de **19**.

Tabla 3-4. Pares cinemáticos prototipo 3.

Par cinemático	Tipo	Par cinemático	Tipo
0-1	Traslación	3-11	Rotación
0-11	Rotación	4-5	Rotación
0-13	Rotación	4-9	Rotación
1-2	Rotación	5-8	Rotación
1-9	Rotación	7-8	Rotación
2-6	Rotación	9-10	Rotación
2-7	Rotación	10-11	Rotación
3-5	Rotación	11-12	Rotación
3-6	Rotación	12-13	Rotación
3-9	Rotación		

En esta ocasión, el cálculo de grados de libertad es:

$$m = 3 \cdot (14 - 1) - 2 \cdot 19 = 1 \text{ g.d.l}$$

Ahora sí, el mecanismo posee únicamente un grado de libertad, por lo que es necesario una única ecuación para definir el mecanismo y, por lo tanto, una única velocidad para definirlo cinemáticamente.

Con este nuevo mecanismo se puede pasar a la siguiente etapa, correspondiente a la simulación de éste.

Simulación en Working Model.

Una vez se ha conseguido un diseño con un solo grado de libertad, se plasma el prototipo mediante el programa Working Model 2D, y se simula el movimiento. Gracias a la simulación, se puede decidir si el prototipo se ajusta a los objetivos planteados o, si por el contrario, hay que introducir alguna modificación adicional.

Para representar los resultados, se hace girar el motor una vuelta completa, es decir, de 0° a 360°. Dicho motor se sitúa en el par cinemático de rotación formado por los eslabones 0 (o eslabón tierra) y 13. El giro del motor es el contrario a las agujas del reloj.

En la Figura 3.11 se observa el prototipo diseñado tras la simulación. Los datos que se obtienen del programa también se pueden ver en la figura, son tanto la posición del centro de masas del eslabón 8 (llamado en el diseño “rectangle 37”), correspondiente a la parte de la pata que apoya con la superficie del suelo, como su velocidad. Como dato visual, se ha representado la trayectoria del centro de masas del eslabón 8.

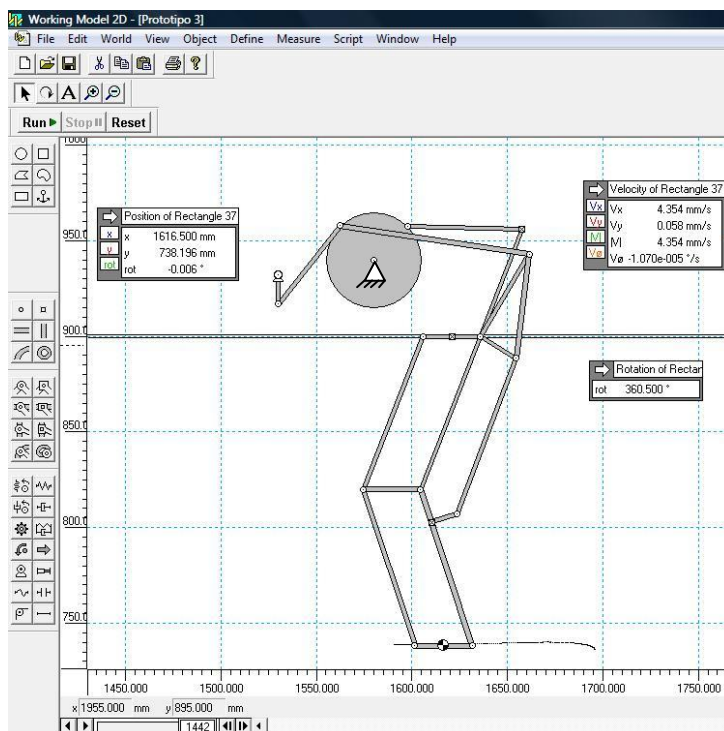


Figura 3.11. Diseño del prototipo 3.

Si se observa en detalle la trayectoria del centro de masas del eslabón 8, se intuye que el prototipo 3 no realiza un movimiento que pueda representar el objetivo buscado. No obstante, se usan los datos obtenidos de la simulación para estudiar y, llegado el momento, descartar definitivamente el prototipo.

Para representar la trayectoria del centro de masas del eslabón 8, se han dividido los puntos de la trayectoria en dos: los correspondientes a los primeros 180° de giro del motor y los correspondientes a los segundos 180° de giro.

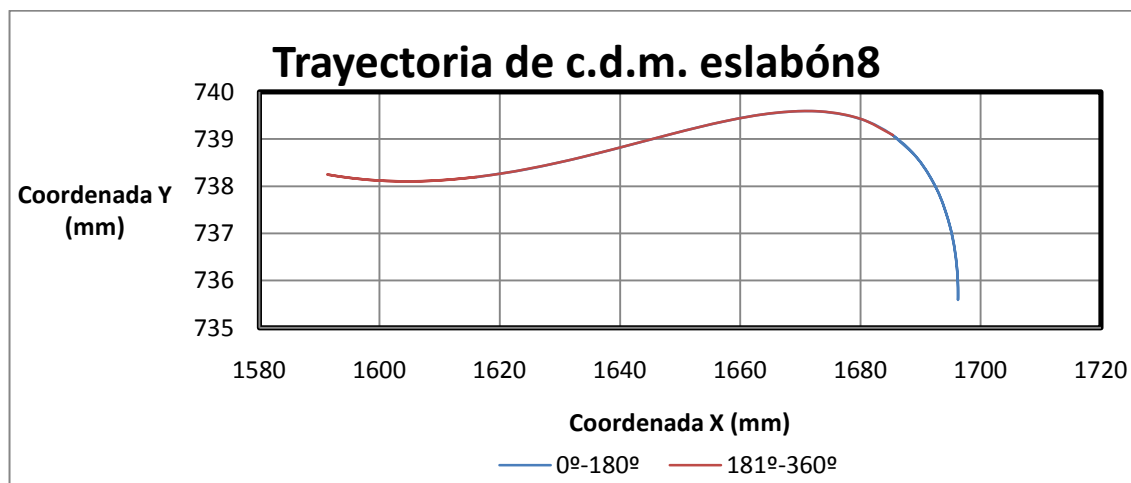


Figura 3.12. Gráfico de la posición del eslabón 8 (prototipo 3).

La gráfica representativa de la posición del c.d.m. del eslabón 8 desvela que el prototipo 3 no constituye un mecanismo válido para el proyecto. Toda la trayectoria transcurre en una sola línea, lo que deshecha la posibilidad de que el mecanismo propuesto forme parte de una pata de robot bípedo.

Atendiendo a la gráfica de las velocidades, se puede reafirmar el comentario anterior.

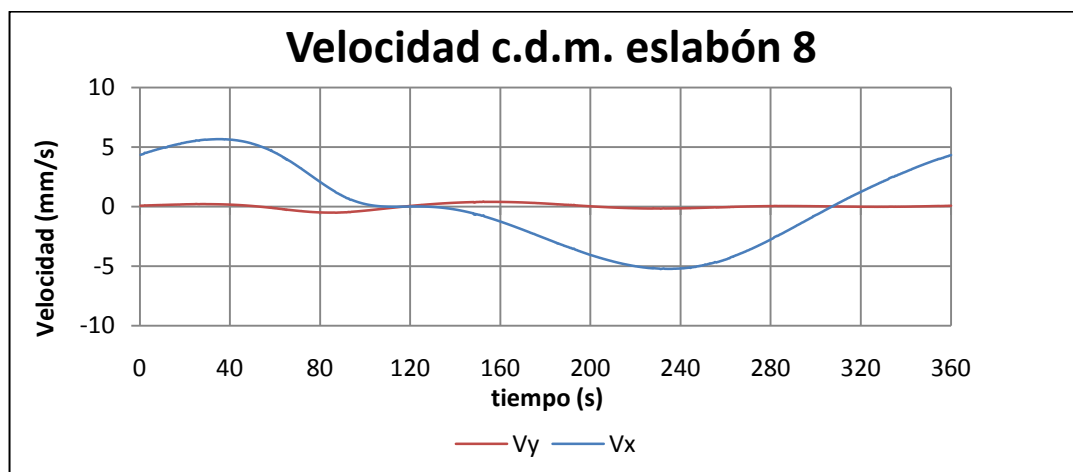


Figura 3.13. Gráfico de las velocidades c.d.m. eslabón 8 (prototipo 3).

La velocidad vertical del centro de masas del eslabón 8 es prácticamente constante e igual a cero. Esto desvela que dicho eslabón prácticamente no tiene movimiento en la componente vertical, por lo que prácticamente no se “levantaría del suelo”.

A la vista de los resultados, hay que concluir que el prototipo 3 no representa el mecanismo buscado.

El prototipo 3 NO ES VÁLIDO.

3.3.7 Prototipo 4.

Para este prototipo el mecanismo ha sufrido dos cambios importantes. El primero de los cambios es deshacer la unión descrita en el apartado anterior, por lo que el anterior eslabón 3, pasa a ser dos eslabones independientes, que se redefinen, como al resto de eslabones en la Figura 3.14. El segundo cambio es, para no variar el número de grados de libertad, restringir uno de los pares cinemáticos. En este caso, el par cinemático unido es el formado por los eslabones anteriormente llamados 5 y 8.

La descripción del prototipo 4, con el conjunto de sus eslabones numerados nuevamente, se representa en la Figura 3.14.

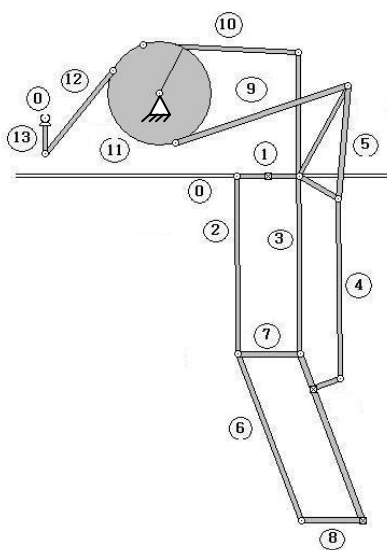


Figura 3.14. Eslabones prototipo 4.

Cálculo de g.d.l.

En este caso, al igual que en el anterior prototipo, el número de eslabones es de **14**. El número de grados de libertad, también se mantiene constante con respecto al prototipo 3. Esto se ha conseguido porque, aunque se ha liberado un punto fijo, dividiendo en dos uno de los eslabones, se ha restringido otro par cinemático, uniendo otros dos eslabones. De este modo el mecanismo queda definido de igual forma que en el anterior prototipo. Por lo tanto, el número de pares cinemáticos es de **19**.

Tabla 3-5. Pares cinemáticos prototipo 4.

Par cinemático	Tipo	Par cinemático	Tipo
0-1	Traslación	3-10	Rotación
0-11	Rotación	4-5	Rotación
0-13	Rotación	4-8	Rotación
1-2	Rotación	5-6	Rotación
1-8	Rotación	8-9	Rotación
2-6	Rotación	9-11	Rotación
2-7	Rotación	10-11	Rotación
3-5	Rotación	11-12	Rotación
3-7	Rotación	12-13	Rotación
3-8	Rotación		

Así, el cálculo de los grados de libertad queda de la siguiente manera:

$$m = 3 \cdot (14 - 1) - 2 \cdot 19 = 1 \text{ g.d.l.}$$

Por lo tanto, el prototipo 4 está listo para la simulación en Working Model.

Simulación en Working Model.

Siguiendo la misma técnica que en el anterior prototipo, los datos de estudio son la posición y velocidad del centro de masas de la parte inferior del eslabón 5 (rectangle 37 en la Figura 3.15). Los datos utilizados para la representación de las gráficas, vuelve a ser un giro del motor, posicionado en el par cinemático formado, en esta ocasión, por los eslabones 0 (tierra) y 13.

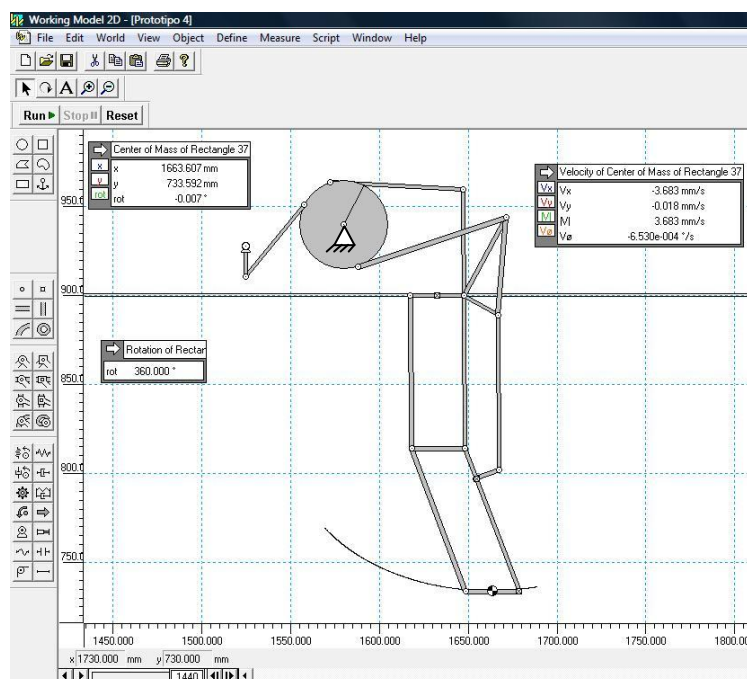


Figura 3.15. Prototipo 4 tras la simulación.

En la Figura 3.15 se aprecia el mecanismo diseñado en Working Model tras la simulación. Al analizar la trayectoria, representada en la Figura 3.15, se puede intuir que

este prototipo tampoco va a arrojar unos resultados que se ajusten al objetivo propuesto, ya que dicha trayectoria, al igual que en el anterior mecanismo, se ajusta perfectamente a una línea, trayectoria diferente a la que se busca en el estudio.

Al realizar la gráfica de la trayectoria, se contempla con mayor claridad la reflexión anterior.

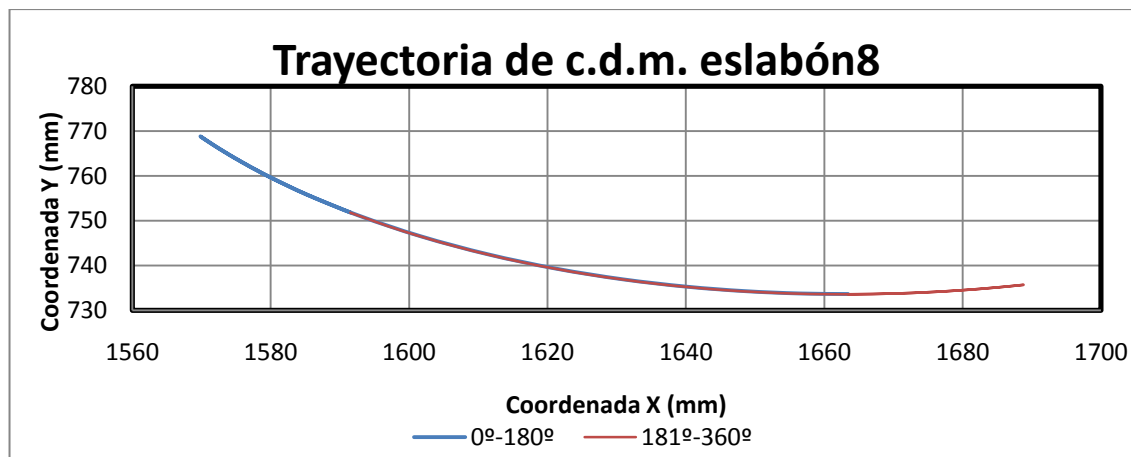


Figura 3.16. Trayectoria centra de gravedad eslabón 8 (prototipo 4).

Al diferenciar los datos de la trayectoria en dos, se observa con claridad como el centro de masas del eslabón que debería hacer las labores de “pie robótico” describe una trayectoria lineal, superponiéndose en todo momento. Esta trayectoria difiere mucho de la planteada en los objetivos.

La gráfica de las velocidades del centro de masas del rectángulo inferior del eslabón 5 desvela los siguientes resultados.

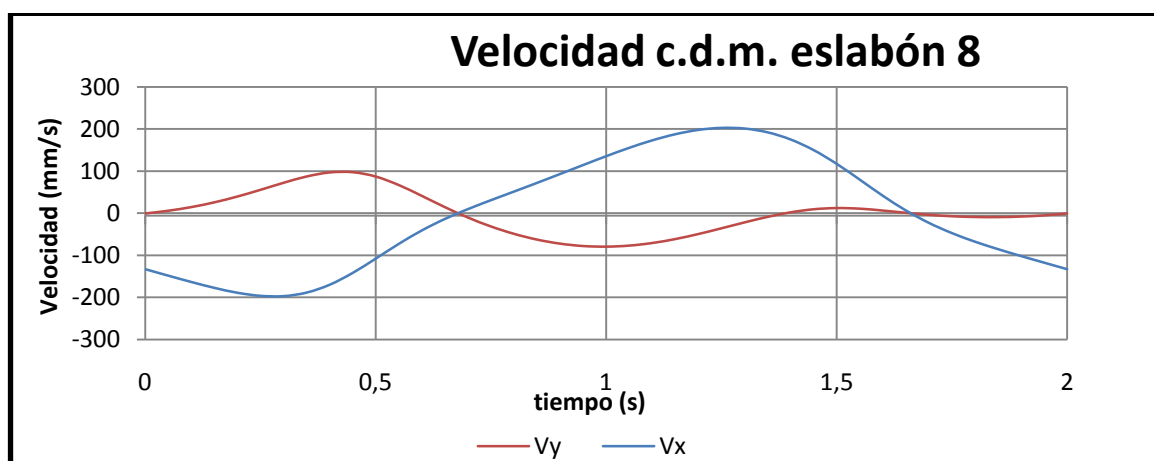


Figura 3.17. Velocidades del centro de masas eslabón 8 (prototipo 4).

Según la gráfica representada en la Figura 3.17, la relación de velocidad, tanto en el eje horizontal como en el vertical no desvela datos para desechar el mecanismo como un modelo válido. Ambas velocidades siguen una trayectoria “suave”, sin ningún pico ni discontinuidad.

Además, en el caso de la velocidad vertical, entre el mínimo y el máximo existe un periodo de velocidad constante e igual a cero. Este resultado no es desfavorable, ya que este hecho se asemeja al periodo en el que una pata entra en contacto con la superficie (suelo). Durante el contacto con el suelo, la velocidad vertical debe ser aproximadamente constante y de valor cercano a 0mm/s.

En todo caso, con los datos analizados de la trayectoria, no se puede sacar una conclusión favorable sobre este modelo.

El prototipo 4 NO ES VÁLIDO

3.3.8 Prototipo 5.

En vista de que los modelos anteriores no reflejan los resultados esperados, se va a dotar al prototipo 5 de cambios significativos, eliminando algún elemento y cambiando la filosofía que se ha adoptado con los mecanismos anteriores.

En primer lugar, se elimina el cuadrilátero articulado que transmitía el movimiento al elemento anteriormente llamado eslabón 11, limitando así su giro. En este prototipo se va a acoplar el motor a este eslabón, permitiendo así que rote en su totalidad, en torno al motor.

La segunda modificación importante es la eliminación del único par cinemático de traslación que existía hasta entonces en los prototipos anteriores. El eslabón que correspondía a dicho par cinemático, pasa a ser fijo, por lo tanto, los extremos del eslabón pueden representarse como apoyos.

La última variación que se realiza con respecto al prototipo anterior es la eliminación de la última restricción que se realizó, es decir, el eslabón 5 del prototipo 4, pasa a estar formado de nuevo por dos eslabones, unidos entre sí por un par cinemático de rotación.

Por lo tanto se reduce así el número de eslabones en 2 y el número de pares cinemáticos en 3.

Tras todas estas modificaciones, el nuevo prototipo se observa en la Figura 3.18, junto con la identificación sus eslabones. Se ha sombreado el eslabón situado entre apoyos, para la mejor comprensión de la figura.

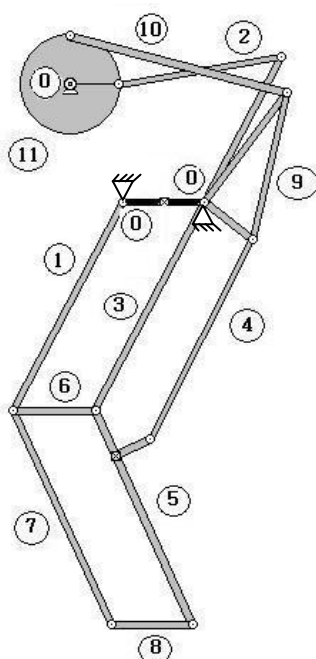


Figura 3.18. Eslabones del prototipo 5.

Cálculo del g.d.l.

El nuevo prototipo está formado por **12 eslabones**, como se observa en la figura anterior.

Realizando un estudio de los pares cinemáticos por los que está compuesto el mecanismo, se observa que todos los pares cinemáticos existentes son de rotación, y el número total de ellos es de **16**.

Tabla 3-6. Pares cinemáticos prototipo 5.

Par cinemático	Tipo	Par cinemático	Tipo
0-1	Rotación	3-6	Rotación
0-9	Rotación	3-9	Rotación
0-11	Rotación	4-5	Rotación
1-6	Rotación	4-9	Rotación
1-7	Rotación	5-8	Rotación
2-3	Rotación	7-8	Rotación
2-11	Rotación	9-10	Rotación
3-5	Rotación	10-11	Rotación

Realizando el cálculo de grados de libertad del mecanismo: se obtiene el siguiente resultado:

$$m = 3 \cdot (12 - 1) - 2 \cdot 16 = 1 \text{ g.d.l.}$$

El nuevo prototipo cuenta con un solo grado de libertad, por lo que se puede pasar su simulación para estudiar su comportamiento.

Simulación en Working Model.

En esta ocasión, el motor se fija en el centro del eslabón circular, el eslabón 11. La diferencia entre la colocación del motor en este eslabón es que, en esta ocasión, el eslabón circular sí va a realizar vueltas completas, y no parciales como en los anteriores prototipos. Al realizar la simulación se pueden interpretar los datos de un modo interesante.

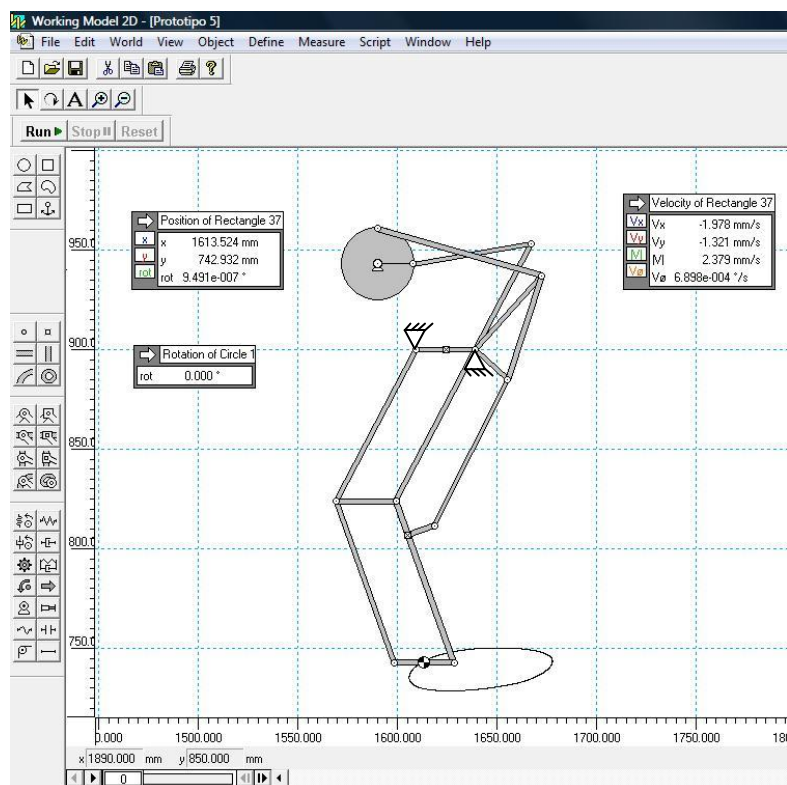


Figura 3.19. Prototipo 5 tras la simulación.

Se puede ver con bastante claridad la trayectoria del centro de masas del eslabón 8. Esta trayectoria parece poseer características similares a la trayectoria pretendida en el proyecto. La Figura 3.20 permite la evaluación de la trayectoria con más detenimiento.

La trayectoria representada en la Figura 3.20 tiene varias características acordes con la trayectoria objeto de estudio. Dichas características son:

- Trayectoria cíclica.

Característica fundamental para que la simulación simule un “paso”.

- Trayectoria cerrada.

La trayectoria termina en punto exacto de comienzo, por lo que cada giro del motor correspondería exactamente a un paso completo del mecanismo. Además desvela que los pasos son exactamente iguales, lo que garantiza un avance constante del robot bípedo.

- Trayectoria cuasi rectilínea en su parte inferior.

Aunque la trayectoria del paso recuerda a una elipse, ésta es muy alargada, lo que permite observar una parte de la trayectoria en su zona inferior, con un recorrido muy pequeño en el eje vertical. Esa zona, es la parte de la trayectoria que simula el contacto de la pata con el suelo.

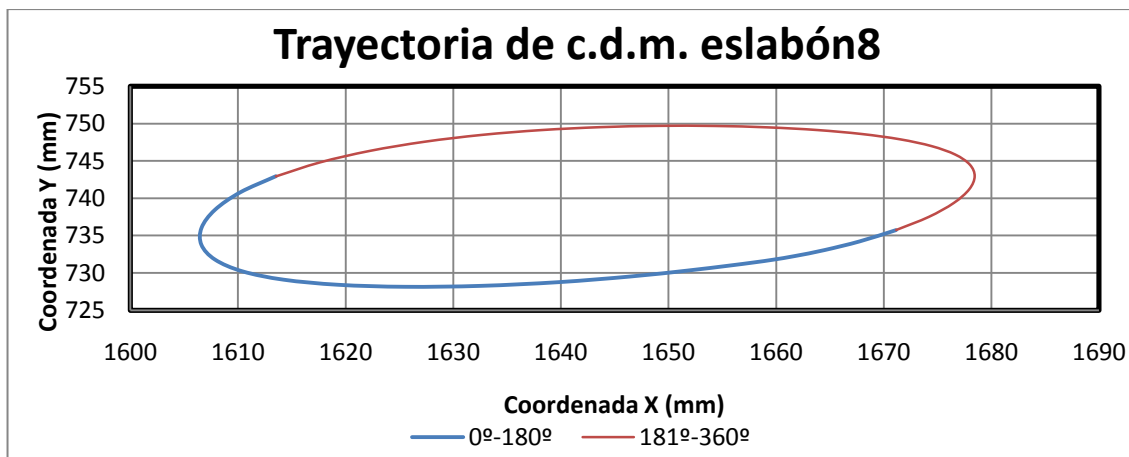


Figura 3.20. Gráfico del c.d.m. eslabón 8 (prototipo 5)

Aunque este prototipo parece adecuado, antes de tomar una decisión, se va a analizar la velocidad del centro de masas del eslabón 8, para averiguar si existe algún dato que pueda desechar la validez del prototipo.

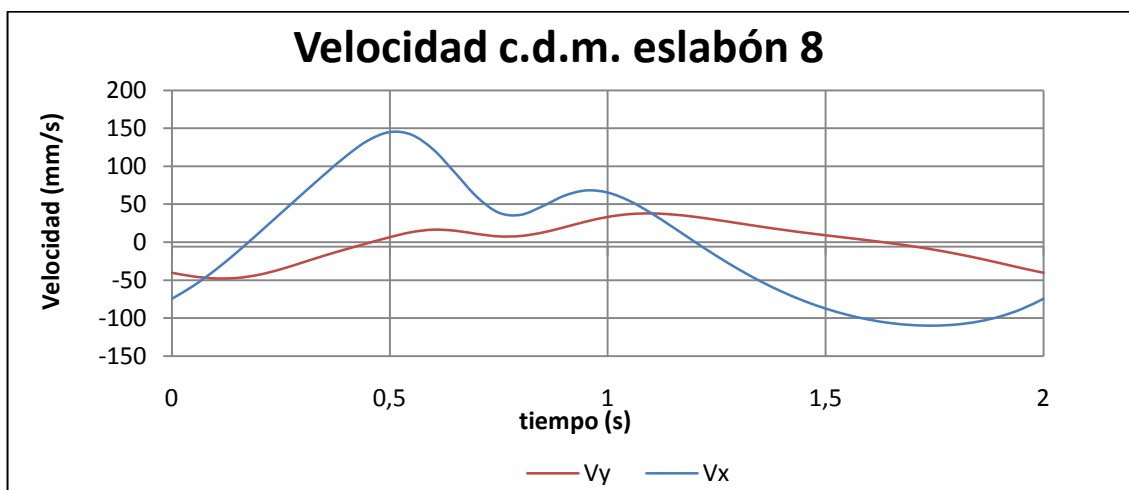


Figura 3.21. Gráfico de la velocidad del c.d.m. eslabón 8 (prototipo 5)

Se puede observar cómo tanto la velocidad vertical como la horizontal son cíclicas, ya que ambas comienzan y acaban con el mismo valor. También se ve como la velocidad horizontal tiene un mayor rango que la vertical. Este hecho es también el esperado para la trayectoria que representa.

Ambas velocidades siguen una curva “suave”, dato necesario, ya que en la trayectoria estudiada, un cambio brusco de velocidad dificultaría el normal desarrollo del paso. Este cambio brusco quedaría representado en la gráfica de velocidades con un “pico” o una discontinuidad. Sin embargo, tanto para la velocidad vertical como para la horizontal, esto no sucede, por lo que no se puede descartar el mecanismo por el comportamiento de la velocidad.

Se incluye la gráfica de la velocidad total del centro de masas del eslabón 8, en valor absoluto.

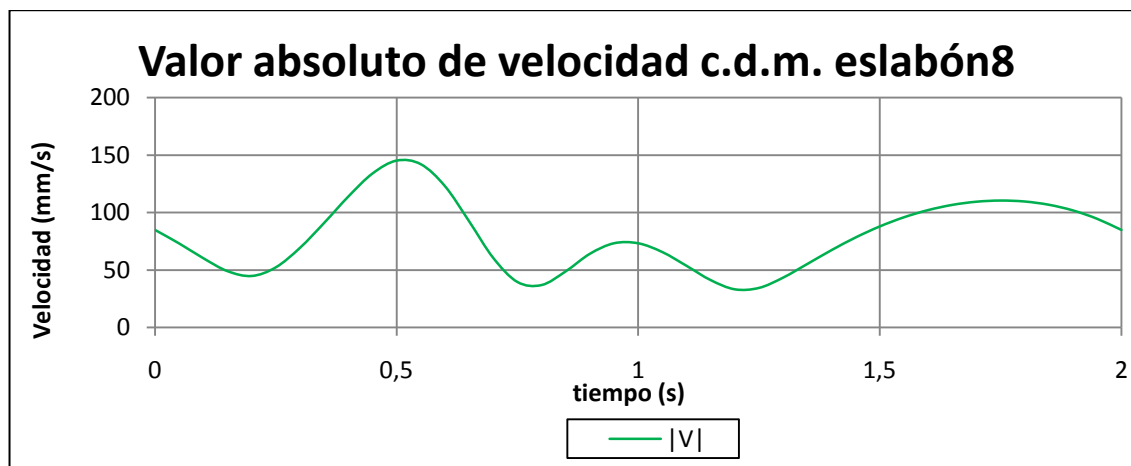


Figura 3.22. Gráfica $|V|$ del centro de masas del eslabón 8 (prototipo5)

El valor absoluto de la velocidad, durante un giro del motor, también se ve representada por una curva continua y “suave”. El valor absoluto de la velocidad también es cíclico y se repite por cada vuelta del motor.

Para acabar de determinar la viabilidad del prototipo se representa la gráfica de aceleraciones del eslabón 8.

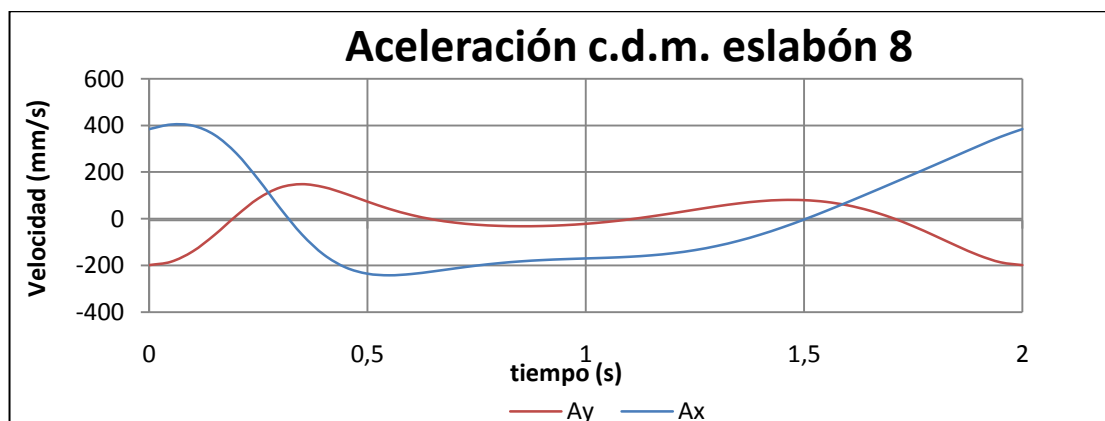


Figura 3.23. Gráfico de las aceleraciones horizontal y vertical d del eslabón 8.

Las aceleraciones horizontal y vertical del eslabón 8 también forman gráficas continuas y cíclicas. No existe ninguna discontinuidad ni se aprecia ningún cambio brusco de trayectoria. Por lo tanto, las aceleraciones no reflejan ninguna razón para determinar la inviabilidad del mecanismo formado por el prototipo 5.

Algunos de los datos numéricos que se pueden sacar a tenor de los resultados obtenidos, son los siguientes:

Velocidad al comienzo de un ciclo del motor: 84,835 mm/s.

La Máxima velocidad del centro de masas del eslabón 8 aparece con 93° de giro del motor, y su valor es de 145,222 mm/s.

La velocidad mínima del centro de masas del eslabón 8 es de 33,157 mm/s. Esta velocidad es alcanzada cuando el motor a girado $219,5^\circ$ en cada una de sus vueltas.

La máxima y la mínima aceleración del eslabón 8 durante la trayectoria de un paso son $432,938 \text{ mm/s}^2$ y $79,715 \text{ mm/s}^2$ respectivamente.

Tras el estudio en Working Model, se puede concluir que el prototipo 5 se asemeja con bastante exactitud a las características requeridas en los objetivos del proyecto.

El prototipo 5 ES VÁLIDO

Como complemento al estudio del mecanismo en Working Model, se analiza la conducta de dos eslabones con diferente comportamiento. Para la elección de estos elementos se ha dividido el mecanismo en dos grupos de eslabones.

En la Figura 3.24 se han diferenciado los dos grupos, resaltando las trayectorias de los puntos más significativos de cada grupo de eslabones.

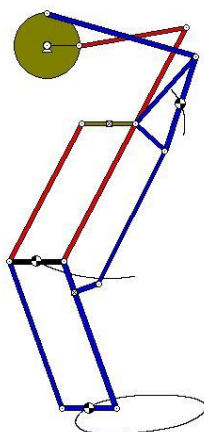


Figura 3.24. Trayectorias de los grupos de eslabones.

Para su mejor identificación se han diferenciado los eslabones que forman el prototipo en colores, para tipificar su labor en el movimiento de éste. El significado de los colores son los siguientes:

Marrón: elementos fijados, es decir, eslabones que forman un par cinemático con el elemento tierra.

Rojo: grupo de eslabones que ocupan una parte importante en el movimiento horizontal del eslabón inferior del mecanismo.

Azul: grupo de eslabones que influyen en gran parte del movimiento vertical del eslabón inferior del mecanismo.

Negro: eslabón que representa el nexo de unión entre los dos grandes grupos encargados del movimiento.

Si se observa con detenimiento las trayectorias de la Figura 3.24, se puede ver cómo, el grupo de eslabones de color rojo, genera una trayectoria con una componente vertical casi nula, mientras que la componente horizontal es mucho mayor. Se puede decir que este grupo de eslabones genera una trayectoria cuasi horizontal.

Por el contrario, el grupo de eslabones de color azul genera una trayectoria cuasi vertical, ya que su componente horizontal es mucho menor que la vertical. A este último grupo pertenece el eslabón que hace la función de “Pie”, esto es, el eslabón más inferior del mecanismo.

Generación del movimiento horizontal.

Como queda representado en la Figura 3.24, los eslabones que influyen más significativamente en el movimiento horizontal son los denominados con los números 1, 2 y 3 (Figura 3.18). La trayectoria elegida para la representación de esa componente horizontal es la correspondiente al centro de masas del eslabón 6. En la Figura 3.25 se puede observar dicha trayectoria.

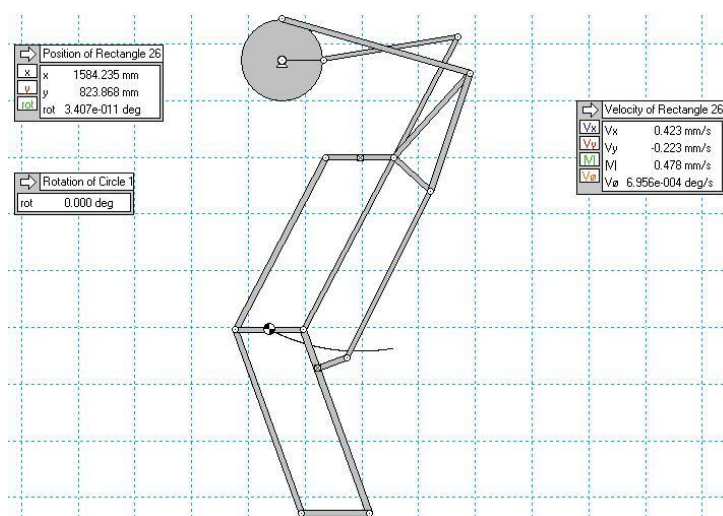


Figura 3.25. Trayectoria del eslabón 6.

Al representar la trayectoria en una gráfica se manifiesta de una manera más clara la aportación de este conjunto de eslabones a la trayectoria final.

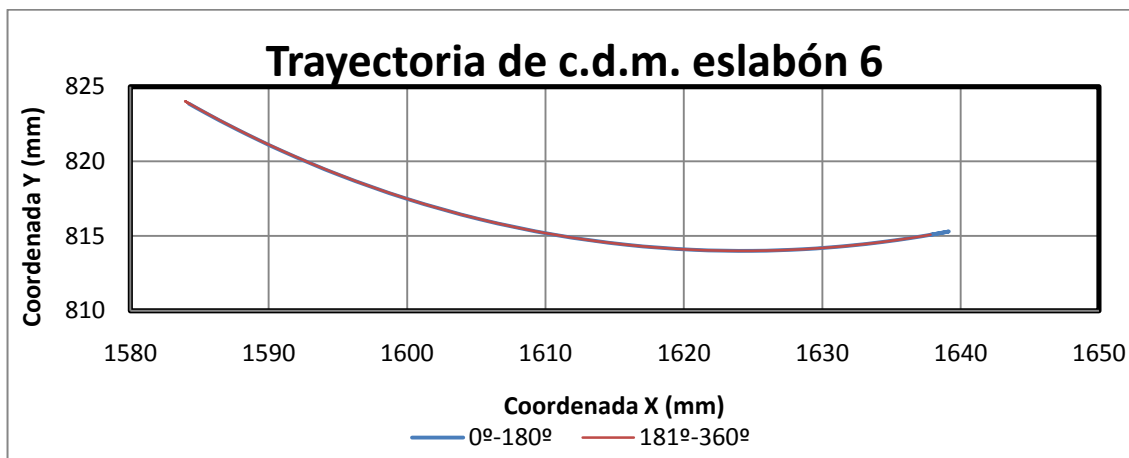


Figura 3.26. Gráfico de la trayectoria del c.d.m. del eslabón 6.

Como cabe esperar, la distancia recorrida por el centro de masas del eslabón 6 es mucho menor en su componente vertical que en su componente horizontal.

El comportamiento de las componentes de la velocidad en el eslabón 6 es el siguiente:

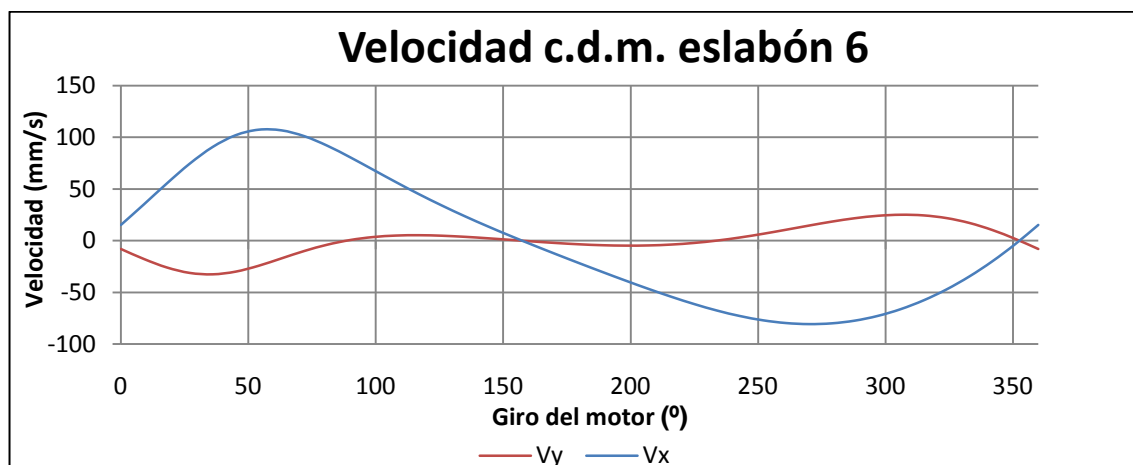


Figura 3.27. Gráfica de los componentes de la velocidad del c.d.m. del eslabón 6.

La componente de la velocidad horizontal posee una mayor amplitud que la componente vertical del mismo eslabón. Este hecho ratifica la afirmación de que el eslabón 6 ejerce una labor casi exclusiva al componente horizontal de la trayectoria final.

Generación del movimiento vertical.

Al igual que en el apartado anterior. Se estudia en esta ocasión el conjunto de eslabones que influyen de una forma más significativa en el movimiento vertical del prototipo. Los eslabones que forman parte de este conjunto son los identificados con los números 4, 5, 7, 8, 9 y 10. En la Figura 3.24 estos eslabones se representan con el color azul.

El elemento que representa el movimiento vertical que genera este grupo es el eslabón 9. Este eslabón tiene forma de triángulo. Para la visualización de la trayectoria se ha elegido el centro de masas de la hipotenusa de este triángulo.

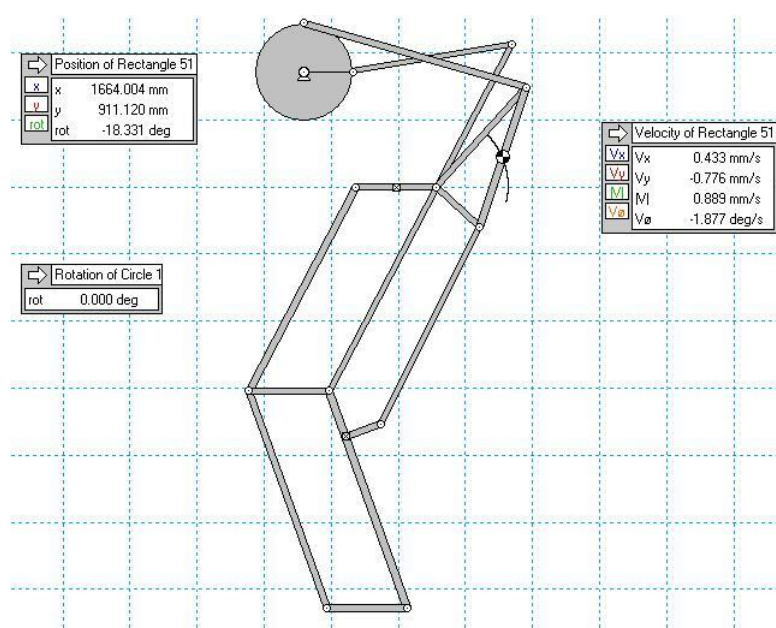


Figura 3.28. Trayectoria del c.d.m. del eslabón 9.

Al visualizar la gráfica de la posición del punto descrito anteriormente, se aprecia con claridad que la trayectoria seguida por dicho punto es eminentemente vertical, es decir, la componente horizontal de la trayectoria es muy pequeña si se compara con la trayectoria vertical.

Como pasaba en el apartado anterior, la gráfica que representa las componentes horizontal y vertical del punto anteriormente mencionado (Figura 3.29) arroja unos resultados muy significativos.

La amplitud de la gráfica de la componente horizontal de la velocidad es mucho menor que la amplitud de la componente vertical, como se esperaba.

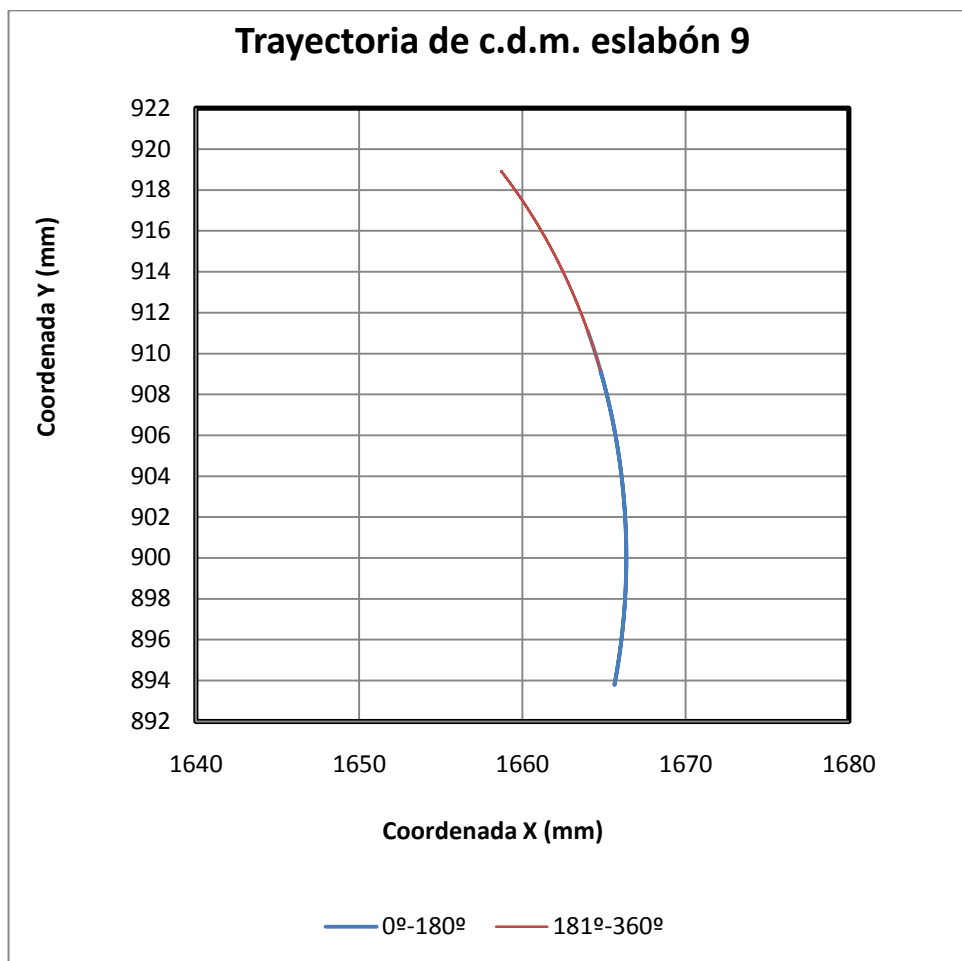


Figura 3.29. Gráfica de la trayectoria del centro de masas del eslabón 9.

La gráfica de la velocidad del eslabón 9 presenta los resultados esperados, valores mucho mayores en el caso de la velocidad vertical:

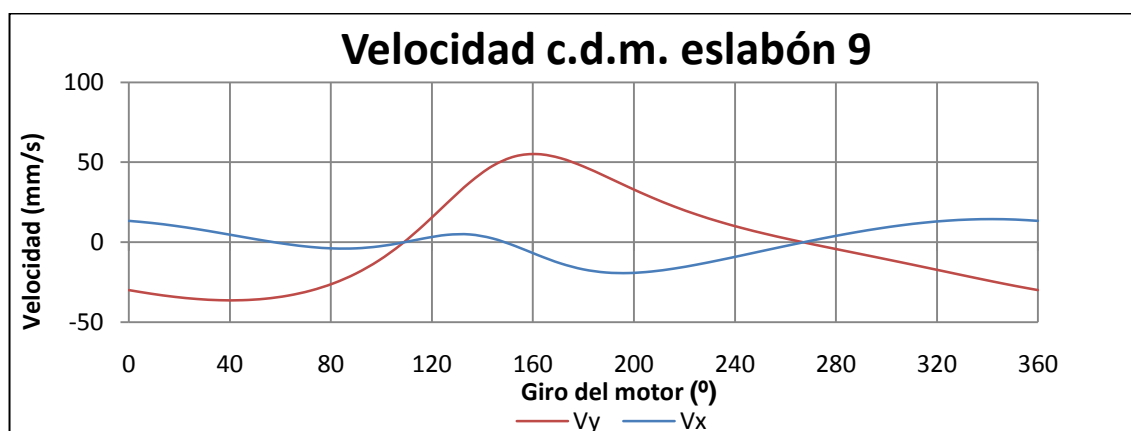


Figura 3.30. Gráfica de las componentes de la velocidad del c.d.m. del eslabón 9.



Una vez ha quedado definido el prototipo, el siguiente paso es realizar una propuesta de diseño en 3 dimensiones, respetando la filosofía del prototipo modelado en 2 dimensiones.

Para conseguir el modelo en 3 dimensiones se ha usado el programa “SOLID EDGE whith Synchronous Technology”, también conocido como Solid ST, en la primera versión desarrollada por Siemens.





Capítulo 4

Propuesta de diseño del prototipo en 3D



Mediante el estudio del prototipo con Working se han adaptado parámetros dimensionales y restricciones que forman un mecanismo que se ajusta a los objetivos del proyecto.

Para la transformación del modelo en 3 dimensiones se va a usar el programa de diseño Solid Edge ST, en su primera versión lanzada por Siemens, ya que es la versión más avanzada de la que se posee licencia al comienzo de este proyecto.

4.1 Introducción de Solid Edge.

Solid Edge es un programa de parametrizado de piezas en 3D basado en un software de sistema de diseño asistido por ordenador (CAD). Permite el modelado de piezas de distintos materiales, doblado de chapas, ensamblaje de conjuntos, soldadura y funciones de dibujo en plano para ingenieros. [11]



Figura 4.1. Última versión: "Solid Edge ST2".

Desde su creación, éste es uno de los paquetes instalados a enterrar el uso masivo del CAD 2D dando paso al CAD 3D, con las consiguientes ventajas a todos los niveles del trabajo. A través de software de terceras partes, es compatible con otras tecnologías PLM. También trae "Insight", escrito en PDM y con funcionalidades CPD basadas en tecnología Microsoft.

Con la esencia del modelaje, el proceso del trabajo en equipo, un enfoque único en las necesidades de industrias específicas y la completa dirección de diseño, Solid Edge ayuda a dirigir proyectos hacia una solución de diseño perfecta.

Solid Edge es una industria líder en sistemas mecánicos de diseño con herramientas excepcionales para crear prototipos digitales en 3D. Con un modelado superior y procesos del trabajo paso a paso, enfocándose únicamente en las necesidades de industrias específicas y la dirección de diseño totalmente integrada, Solid Edge dirige proyectos hacia una solución de diseño exacta y sin errores.

El modelado de Solid Edge y las herramientas de ensamble ofrecen un equipo de ingeniería, de fácil manejo, para un desarrollo completo de diferentes productos, desde partes pequeñas hasta complejos ensambles que contengan muchos componentes. Las órdenes adaptadas y procesos de trabajos estructurados aceleran el diseño de rasgos comunes en industrias específicas, para asegurar una distribución y una función de partes diseñadas exactas, analizando y modificándolos dentro del modelo en el ensamble.

Solid Edge es un producto idóneo para todos los profesionales del diseño mecánico, ya que ofrece una excelente productividad para el diseño y la producción de planos de piezas mecánicas y ensamblajes. Además, ayuda a los fabricantes a introducir sus productos en el mercado en el menor tiempo, con la mayor calidad y con el menor coste posible.

Solid Edge ayuda a los diseñadores mecánicos a reducir los tiempos de comercialización gracias a la obtención de un diseño correcto desde el primer momento. El programa contiene unas herramientas exclusivas para eliminar los errores de diseño y reducir así tanto el tiempo de desarrollo como los costes. Al diseñar con Solid Edge también se aprovecha el conocimiento con el que se consigue un proceso de ingeniería preciso y sin errores.

4.1.1 Historia de Solid Edge.

Inicialmente fue desarrollado por Intergraph, en 1995, como uno de los primeros entornos basados en CAD para Windows NT, ahora pertenece y es desarrollado por Siemens AG. Su kernel de modelado geométrico era originalmente ACIS, pero fue cambiado a Parasolid. El núcleo Parasolid es desarrollado actualmente por Siemens PLM software y es usado ampliamente como el motor geométrico de otras herramientas CADs (SolidWorks, IronCAD, MoldFlow, etc.).

Recientemente adquirido por Siemens AG está empezando a formar parte de todas sus plantas de producción e ingeniería por lo que está sufriendo unas mejoras considerables. Esta inclusión de Solid Edge dentro de Siemens está suponiendo muchos cambios funcionales dentro del software que lo están mejorando notablemente y está ayudando a que evolucione.

Dentro de las mejoras más notables en esta última versión ST cabe destacar la traducción de archivos de otras plataformas, lo que permitirá sin duda que se abra paso en sectores antes condenados al uso de un determinado software por la falta de compatibilidad de sus archivos con otros paquetes de CAD, esto le permite editar información de otras herramientas CAD (Autodesk Inventor, SolidWorks, Pro Engineer, IronCAD entre otras). Entre los programas similares encontramos al Autodesk Inventor, al SolidWorks, al Pro Engineer.

4.1.2 Características de Solid Edge.

Las características principales que identifican al programa Solid Edge y lo distinguen de otros programas similares, son las siguientes:

- Operaciones específicas para el proceso de modelado de la industria de los plásticos.
- Gestión de grandes conjuntos complejos formados por muchas piezas y subconjuntos.
- Gestión de datos de conjunto desde las primeras fases de planificación del proyecto hasta los ciclos de revisión, fabricación, mantenimiento del proyecto y archivado.
- Verificación visual del movimiento en un ensamblaje o de interferencias en todo el rango de movimiento.
- Automatización y racionalización de todas las funciones de diseño, desde el concepto hasta el diseño de detalle y la producción de planos, para reducir notablemente el tiempo de desarrollo.
- Creación de modelos virtuales muy precisos que incorporan conocimiento de ingeniería para evitar errores costosos y trabajo innecesario.
- Ayuda para la evaluación de un mayor número de alternativas de diseño en menos tiempo, permitiendo optimizar el rendimiento y aumentar la fiabilidad.
- En el diseño de ensamblajes permite dividir las tareas de diseño entre los miembros del equipo, presentar los sub-ensamblajes a medida que se terminan y garantizar un producto final homogéneo.
- Ayudas de diseño exclusivas para eliminar errores y facilitar la toma de decisiones.
- Simulación de desplazamientos complejos, detección de interferencias y creación de animaciones en el rango completo de movimientos de un conjunto con facilidad y precisión.
- Seguimiento de los dibujos de ingeniería, consecuencia de las alteraciones del modelo de diseño en 3D.
- Herramientas paramétricas basadas en operaciones para modelar piezas mecánicas.
- Entornos especializados para chapas metálicas, soldaduras y tuberías.
- Controles de diseño, detalle, anotación y dimensiones que se ajustan automáticamente al estándar del plano mecánico seleccionado.
- Sistema asociativo de producción de planos que crea y actualiza automáticamente los dibujos de modelos 3D.
- Herramientas económicas para compartir los datos de diseño: SmartView y WebPublisher.
- Conversión de datos desde y hacia formatos CAD: ACIS, Auto CAD (DXF/DWG), IGES, MicroStation, STEP, Parasolid, Pro/ENGINEER, etc.
- Minimización de los costes relacionados con la creación de prototipos, los errores, las revisiones y las peticiones de modificación.
- Existencia de librerías y herramientas complementarias desarrolladas por el propio fabricante o por empresas externas.

4.1.3 Últimas versiones de Solid Edge.

- Solid Edge V18. (año 2005)
- Solid Edge V19 (año 2006)
- Solid Edge V20 (2007)
- Solid Edge With Synchronous Technology (año 2008).
- Solid Edge With Synchronous Technology 2(año 2009).

4.1.4 Synchronous Technology y Solid Edge.

En las anteriores ediciones de Solid Edge, el diseño de las piezas venía determinada por el orden de operaciones realizado por el diseñador. El orden de operación era muy importante en el diseño final. Como ejemplo, si en una pieza se modificaba una operación, Solid Edge recalculaba todas las operaciones posteriores, lo que generaba grandes pérdidas de tiempo, y en ocasiones, errores de difícil modificación.

Con esta nueva tecnología queda derogada el orden de generación de las operaciones, lo que quiere decir esto es que no importa el orden en que se han creado las operaciones, recalcula sólo las geometrías necesarias, y con la introducción de la “steering Wheel”, podemos dinámicamente modificar los sólidos sin siquiera tocar el boceto. Esta tecnología también permite actuar sobre las operaciones de geometrías importadas de otras plataformas CAD con total libertad, acelerando el proceso de creación y modificación de geometría entre empresas que cuentan con programas diferentes.

Otra de los avances de Solid Edge ST, es la forma de trabajo. La versión tradicional se trabajaba sobre planos, dibujando en 2D. Una vez se ha dibujado en el plano previamente seleccionado, se introduce el valor de profundidad, dotando así al boceto la dimensión que le falta. En la figura siguiente se observa la evolución de la construcción de un cubo de 50mm de lado: primero se dibuja un lado en un plano elegido anteriormente, después se determina la profundidad del cubo y por último se elige la opción terminar, para que el cubo quede determinado.

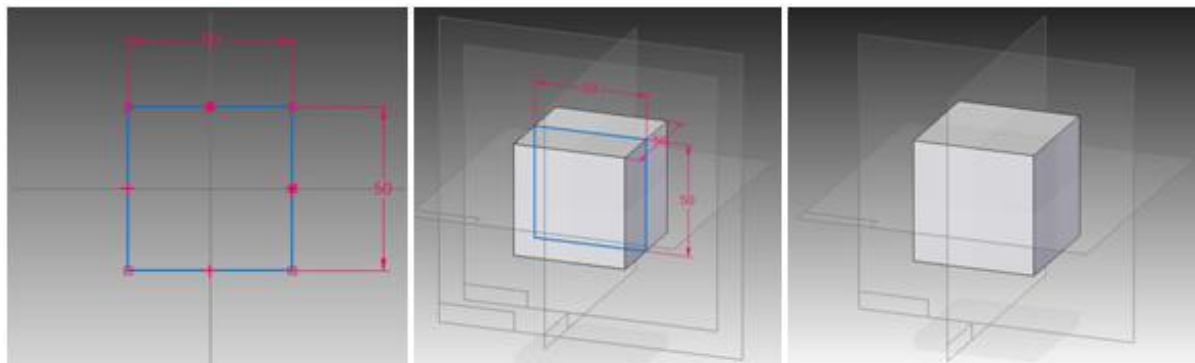


Figura 4.2Evolución de una extrusión en entorno pieza tradicional.

La versión síncrona permite el trabajo sobre la pieza en 3D, realizando una operación de una manera directa y muy visual. Como se plasma en la imagen siguiente, se dibuja directamente en 3D, para más adelante determinar la profundidad de una manera directa.

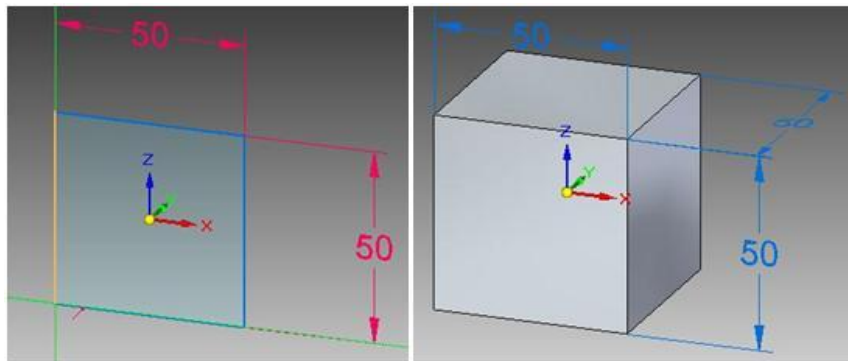


Figura 4.3. Evolución de una extrusión en entorno pieza síncrono.

El resto de operaciones (vaciado, agujero, etc.) obedece al mismo patrón de trabajo, diseñando toda la pieza directamente en un entorno de 3D

Esta forma de trabajo es muy dinámica. Cuando se elabora una pieza con muchas operaciones, con el modelo antiguo hay mucha pérdida de tiempo a la hora de redefinir una de las primeras operaciones, ya que el programa debe recalcular todas las operaciones posteriores a la operación definida. Por el contrario, las nuevas versiones síncronas no necesitan ese tipo de cálculo, ya que las operaciones son independientes unas a otras, no teniendo en cuenta la posición de creación.

4.1.5 Solid Edge With Synchronous Technology 2

El software “Solid Edge with Synchronous Technology 2” sigue expandiendo el innovador paradigma de diseño de “synchronous technology” que se presentó por primera vez en 2008. Esta versión amplía la implementación inicial para abarcar más escenarios de diseño, e introduce un nuevo entorno de diseño de chapa metálica basada en Synchronous Technology, demostrando como ésta tecnología va extendiéndose a través de Solid Edge.

Estas mejoras, combinadas con una nueva y sólida aplicación de análisis de elementos finitos y la actualización del software “Solid Edge Insight”, permiten que Solid Edge with Synchronous Technology 2 siga ofreciendo un modelado hasta 100 veces más rápido, además de otras muchas ventajas. [12]

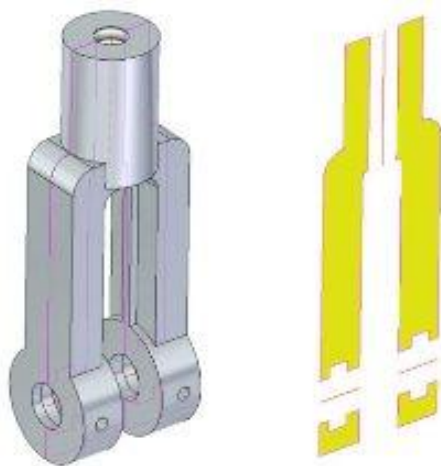


Figura 4.4. Edición de modelos 3D con secciones transversales 2D.

Principales novedades

Entre las muchas mejoras que ofrece la segunda versión de Solid Edge ST, las principales novedades que aporta con respecto a la versión Solid Edge ST 1 son las siguientes:

- a. Ampliación de Synchronous Technology a piezas y conjuntos.

Inclusión de nuevas funciones, entre las que se incluyen:

- Cotas 2D migran de los planos para convertirse en cotas directoras 3D.
- Secciones dinámicas para la edición de modelos 3D con secciones transversales 2D.
- Sin histórico, edición basada en boceto para operaciones helicoidales, reorganización de redondeos, etc.

- b. Aplicación de Synchronous Technology a las chapas metálicas.

Nuevo entorno síncrono de chapa metálica (no incluido en la primera versión de ST). Esta capacidad amplía el potencial del entorno chapa más allá del modelado tradicional.

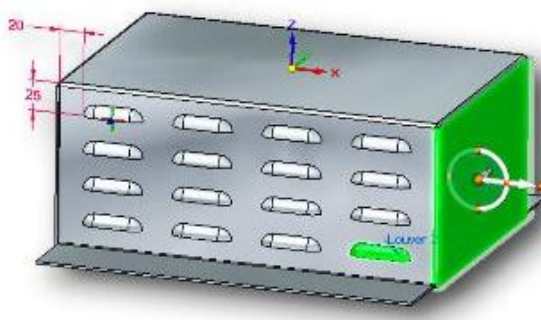


Figura 4.5. Entorno chapa síncrono.

Las operaciones de procedimiento específicas de chapa permiten realizar ediciones de operaciones sin histórico, mediante bocetos o parámetros y evitar la regeneración del modelo.

Otra característica importante del nuevo entorno es la edición más rápida de componentes de la chapa, gracias a las reglas activas adaptadas al diseño de ésta. Las condiciones del modelo se mantienen con o sin restricciones.

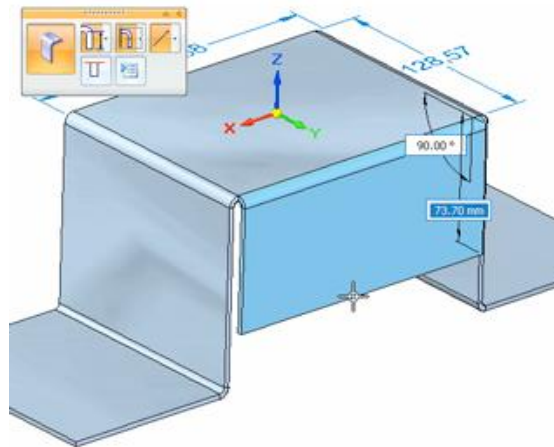


Figura 4.6. Edición dinámica de chapa.

c. Solid Edge Simulation.

Nueva herramienta de análisis de elementos finitos de fácil uso para que los ingenieros de diseño validen digitalmente los diseños en el entorno Solid Edge. Basado en la probada tecnología de modelado de elementos finitos Femap, Solid Edge Simulation reduce considerablemente la necesidad de prototipos físicos, con lo que se reduce los costes de pruebas y materiales al tiempo que se ahorra tiempo de diseño.

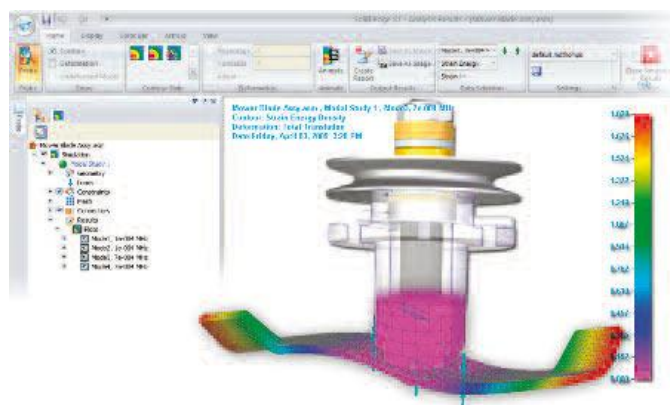


Figura 4.7. Solid Edge Simulation.

d. Gestión de datos del producto.

La herramienta Solid Edge Insight es la primera solución de gestión de datos de diseño que aprovecha la facilidad de uso y bajo coste total de propiedad de la plataforma de productividad empresarial SharePoint de Microsoft. Con esta versión, Insight está ahora disponible en Windows SharePoint Services (WSS) 3.0 y Microsoft Office SharePoint Server 2007, por lo que los usuarios de Solid Edge tienen los componentes básicos para una fácil implementación.

4.1.6 Entornos de Solid Edge ST

El programa Solid Edge cuenta con varios entornos de trabajo, dependiendo del tipo de labor que se vaya a realizar. Además. Las nuevas versiones del programa cuentan con la posibilidad de usar el entorno *síncrono*, utilizando así la tecnología Synchronous Technology, o el entorno *Tradicional*, que permite usar Solid Edge tal y como se utilizaba en las versiones anteriores, es decir, dando preferencia al orden de operaciones.

A continuación se muestra una breve introducción sobre los entornos pertenecientes a la última versión de Solid Edge ST, con imágenes en la que se aprecian elementos realizados en cada entorno (se especifica si en versión tradicional o síncrona) junta a la interfaz, en su pestaña de inicio, para ver las principales operaciones a realizar.

Entorno Pieza.

Este entorno está creado para el diseño de cualquier tipo de piezas, permitiendo realizar extrusiones, agujeros, vaciados, hélices y, en definitiva, elementos en tres dimensiones de diversas geometrías, de complejidad variable.

En la versión Solid Edge ST (v1) está disponible este entorno tanto en tradicional como Síncrono.

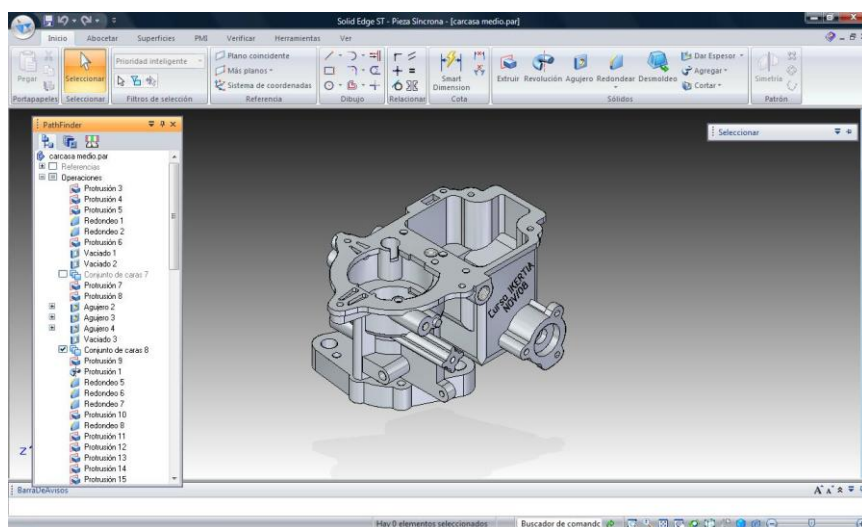


Figura 4.8. Ejemplo de elemento diseñado en Entorno Pieza síncrona.⁵

⁵ 5 Imágenes correspondientes a Figura 4.8, Figura 4.9, Figura 4.10 y Figura 4.11 realizadas en el curso IKERTIA 2008, en la Universidad Carlos III de Madrid.

Entorno chapa.

El entorno chapa es utilizado para el diseño en 3D de elementos cuya característica principal es su espesor relativamente pequeño, con respecto al resto de dimensiones de la pieza.

En este entorno se pueden realizar con facilidad operaciones específicas para las chapas, tales como embutición, plegado o estampación, especificando las características necesarias, como por ejemplo, en el caso de plegado, radio de plegado y factor neutro.

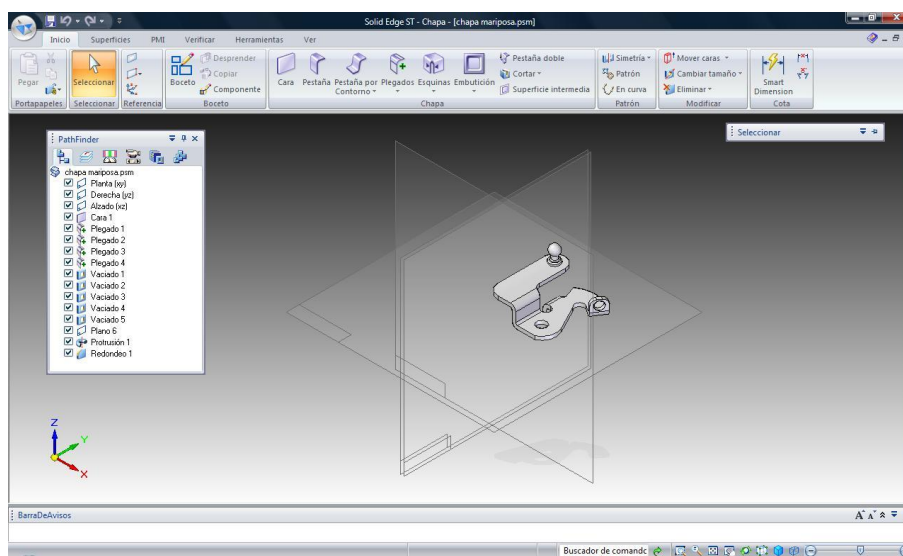


Figura 4.9. Ejemplo de elemento diseñado en Entorno Chapa Tradicional.

La versión síncrona del entorno chapa, no ha aparecido hasta la última versión: Solid Edge ST2.

Entorno Conjunto.

A través del entorno conjunto se ensamblan la totalidad de piezas diseñadas con los entornos anteriormente descritos. También pueden ser ensamblados subconjuntos, formados con anterioridad.

A través del entorno conjunto se pueden configurar gran variedad de mecanismos, definiendo así su composición. De esa forma se puede analizar fácilmente posibles interferencias entre piezas y verificar que el movimiento del mecanismo es el correcto, de acuerdo a lo esperado.

Además de la versión tradicional y la versión síncrona de conjunto, también existe un entorno llamado soldadura. Este es similar al entorno conjunto, pero permite la opción de añadir cordones de soldadura a los conjuntos.

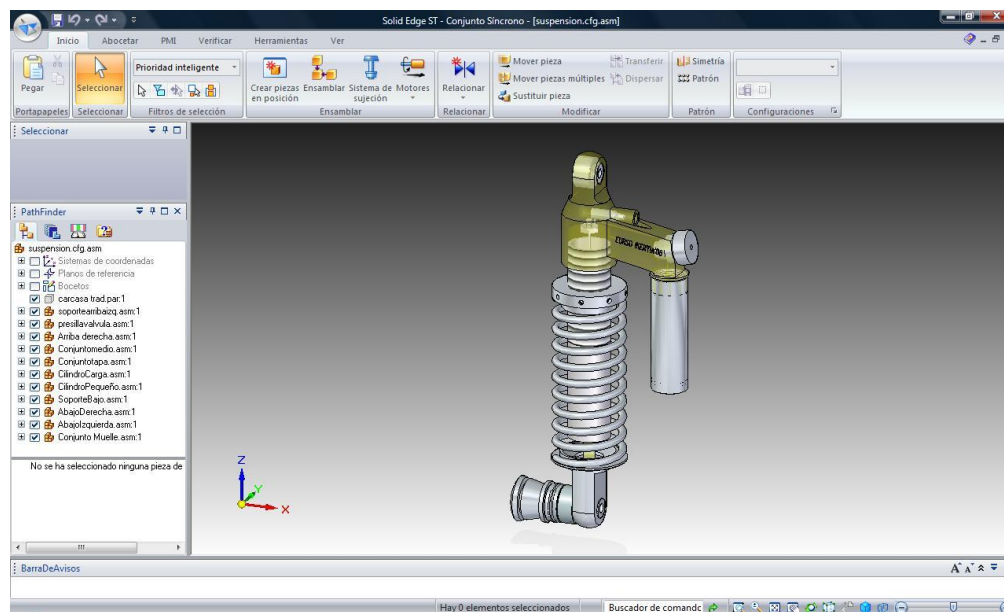


Figura 4.10. Ejemplo de mecanismo diseñado en Entorno Conjunto síncrono.

Mediante el entorno conjunto existe la posibilidad de acceder directamente (a través de la pestaña herramientas) a otros entornos de gran utilidad. Los principales son los siguientes:

XpresRoute.

Entorno de creación de tuberías mediante la especificación de su punto de inicio, el final y su trayectoria, entre otras variables. Muy usado para los conjuntos con componentes hidráulicos.

Entorno de diseño de cableado.

Utilidad para el diseño de manera sencilla de instalaciones eléctricas.

Motion.

Entorno de análisis de movimiento. A través de este entorno se pueden introducir en el conjunto elementos como resortes axiales o de torsión, articulaciones, etc.

ERA.

A través de este entorno se puede realizar el explosionado, el renderizado y/o la animación del conjunto creado.

Entorno Plano.

Como su nombre indica, a través de este entorno se crean los planos de las piezas, chapas y conjuntos creados con los entornos anteriores. Su fácil manejo permite realizar planos muy completos.

Además de las vistas principales de un elemento (planta, perfiles, alzado, etc.), de una manera sencilla se puede incluir vistas de detalle, cortes parciales, cortes auxiliares, etc., para definir completamente el plano.



Figura 4.11. Ejemplo de pieza dibujado en Entorno Plano

4.2 Prediseño del prototipo.

Para crear un modelo en 3 dimensiones hay que respetar las restricciones que intervienen en el prototipo en 2D y **la relación** entre las dimensiones principales. Estas dimensiones son las distancias entre pares cinemáticos de un mismo eslabón. Si se modificara esa relación, el movimiento del mecanismo variaría, por lo que el prototipo se alejaría de los objetivos. En otras palabras, se puede cambiar de tamaño el mecanismo, pero siempre manteniendo una ESCALA, de esta forma la trayectoria conseguida en el apartado anterior también se ve afectada por el factor de escala, pero la *forma* de la trayectoria no varía.

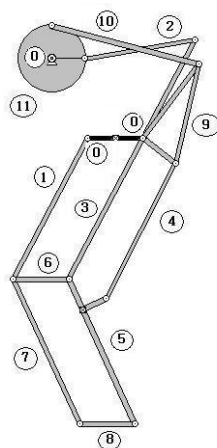


Figura 4.12. Enumeración de eslabones del prototipo final.

En primer lugar, se procede a clasificar los distintos eslabones, especificando el número de eslabón propuesto en el Prototipo 5., el nombre por el cual se va a referir a ellos a partir de ahora y la distancia entre los agujeros donde se encuentran los pares cinemáticos del mecanismo.

Tabla 4-1. Nombre y dimensiones principales de eslabones nombrados en Working Model.

Nº eslabón	Nombre	Distancia entre agujeros(mm)
0	Conjunto base	60
1	Barra principal	172
2	Generador de movimiento horizontal	120
3	Transmisor de movimiento horizontal	120/172 ⁶
4	Transmisor de movimiento vertical	164
5	Tren inferior	*
6	Barra unión	60
7	Barra principal (igual que eslabón 1)	172
8	Barra unión(igual que eslabón 6)	60
9	Triangulo	100/44 ⁷
10	Generador de movimiento vertical	155
11	Rueda transmisora	Ø 72 ⁸

⁶ Distancia entre agujeros correlativos a lo largo del mismo eje (total 3 agujeros).

⁷ Distancia entre agujeros en ángulo de 90 grados.

⁸ Diámetro desde el centro de la rueda.

En el caso del eslabón 5, su estructura es compleja, por lo que las dimensiones principales se pueden ver en el plano, adjuntado al final del documento (anexo H).

Para el proceso de transformación del mecanismo a 3 dimensiones se van a seguir los siguientes pasos:

- a. Definición del prototipo.
- b. Diseño de los componentes y ensamblaje de subconjuntos, asignando las restricciones correspondientes.
- c. Ensamblaje del conjunto total.
- d. Verificar que todos los componentes poseen las propiedades correspondientes (dimensiones, material, etc.)
- e. Definir el movimiento del mecanismo.
- f. Proceder a la simulación del mecanismo, verificando que el comportamiento de este es el adecuado.

4.2.1 Definición del prototipo

Antes de comenzar con el prediseño de los componentes, hay que tener claro cómo va a ser el conjunto final, para de este modo facilitar el trabajo y minimizar los tiempos de diseño.

Las consideraciones principales que se han tenido en cuenta a la hora de diseñar todos los componentes son:

- Elección del tamaño del prototipo. Las dimensiones aproximadas del prototipo diseñado son de 500mm x 210mm x 200mm. Los taladros que sirven de unión entre piezas móviles son de diámetro 5mm. Estas dimensiones se pueden variar en función de la aplicación, tan solo hay que respetar la proporcionalidad de las dimensiones explicadas anteriormente. Si se modifican los espesores de los elementos, hay que prestar atención también a los elementos de unión, ya que también se pueden ver modificadas las longitudes de los bulones o tornillos, etc.
- Simetría del conjunto. Con esta simetría se consigue que el centro de masas total se mantenga en el plano central del conjunto, facilitando así su estabilidad.
- Tridimensionalidad de las patas. En lugar de diseñar cada pata sobre un mismo plano, como ha sucedido en varios robots bípedos ya diseñados y fabricados, en este caso se ha diseñado cada pierna proporcionándole una forma tridimensional. Con esto se quiere conseguir mayor estabilidad del conjunto total. Además se va a facilitar el ensamblaje del conjunto total, permitiendo obtener los puntos de unión de la pata con el resto del conjunto en planos distintos.
- Elección de elementos motrices y de unión. Los elementos motrices elegidos se especifican más adelante. Para las uniones fijas se usa, en unos casos soldadura y en otros tornillos, arandelas y tuercas. Para las uniones móviles se usan bulones, anillos seeger y arandelas de cobre. Más adelante se definen en profundidad todas las uniones.

- Sujeción de elementos motrices en el Conjunto Base. Los elementos motrices que se han añadido, para dotar de realismo al diseño, se ensamblan en el conjunto general a través de sujeciones, previamente diseñadas, al Conjunto Base, para que no intervengan negativamente en la dinámica del conjunto.

Los diferentes elementos que forman parte del mecanismo se pueden clasificar en tres grupos, atendiendo a la función que desempeñan:

- a. Componentes y subconjuntos. Elementos principales del mecanismo. Intervienen en el movimiento, inducidos por los elementos motrices.
- b. Elementos motrices. En este grupo se engloban los elementos como motor o distribuidor, que dotan a los componentes y subconjuntos anteriores de movimiento.
- c. Elementos de unión. Grupo formado por tornillos, tuercas, bulones, etc. Además de la función de unión y fijación, algunos de los elementos de este grupo también aportan otras funciones, como evitar fricciones entre los componentes principales.

Una vez se tienen claros todos los parámetros de diseño, se comienza a dibujar uno a uno, todos los componentes que van a formar el conjunto total.

Con todos los elementos dibujados, se ensamblan, dando lugar a la propuesta de diseño final.

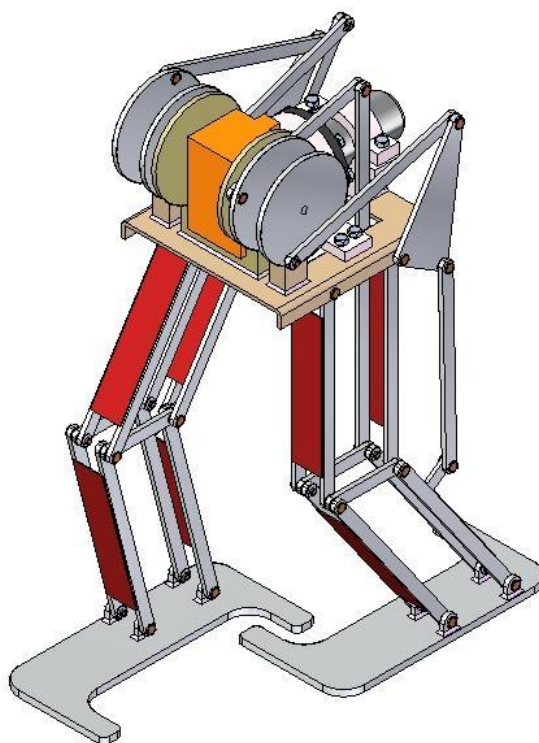


Figura 4.13. Propuesta de diseño.

Aunque en los planos que se encuentran en el anexo H de este documento vienen especificados todas las dimensiones y la colocación exacta de todos los componentes, en

este apartado se muestra un resumen tanto de las principales dimensiones como de la colocación de todos los elementos.

Algunos elementos, como el motor, distribuidor o sus soportes, han sido dibujados únicamente para dar realismo al diseño, ya que la elección de los mismos no es objeto de este proyecto. No obstante, se ha introducido un diseño con medidas exteriores aproximadas de dichos elementos.

4.2.2 Diseño de componentes y subconjuntos.

Conjunto Base

Este elemento es un subconjunto, formado por varias piezas independientes soldadas entre sí. El Conjunto Base ejerce de sustentación de todos los elementos. En el van sujetos, como se ha mencionado anteriormente, todos los elementos motrices, además de ambas patas.

Como se puede observar en la Figura 4.14, el conjunto base está formado por cinco piezas distintas, dos de ellas repetidas dos veces. Todas las piezas están unidas mediante cordón de soldadura de 2mm. de espesor mínimo. Las características del cordón y del material de aporte en la soldadura las facilita el proveedor del material de las piezas a soldar, en el anexo G.

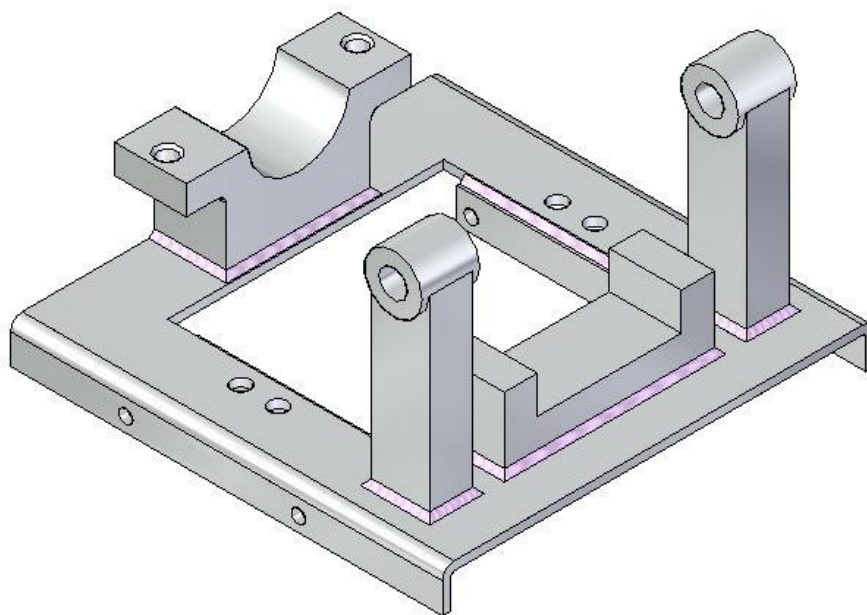


Figura 4.14. Conjunto Base.

Para que el conjunto total sea simétrico, también se ha dotado de simetría al Conjunto base. De esta forma, el centro de masas del conjunto se mantiene en el plano simétrico (plano x-z).

Base.

La pieza sustentadora de todo el conjunto. Su misión principal es la de ejercer de plataforma, no solo del subconjunto llamado “conjunto base”, sino de todo el prototipo. Es la pieza a partir de la cual se sueldan el resto de piezas del “Conjunto Base”.

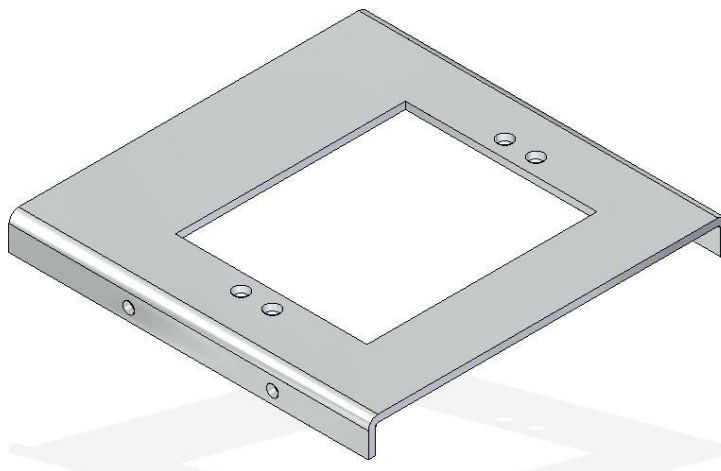


Figura 4.15. Base.

Esta pieza es una chapa de 3mm. de espesor, plegada en dos de sus lados formando un ángulo recto, de noventa grados, con un radio de plegado de 1mm y un factor neutro de 0,30. El material es Aluminio 1060.

Las dimensiones de la chapa desarrollada son de 150mm x 169mm. Además de los cuatro taladros en los laterales plegados, muy importantes ya que necesitan guardar la proporción para que el mecanismo funcione correctamente, la chapa tiene un vaciado en el centro, donde se soldará otra chapa, y otros cuatro taladros que sirven para unir mediante tornillos la sujeción del motor. Una vez plegado. Las dimensiones exteriores son: 150mm x 150mm x 14,5mm.

Chapa.

Esta pieza es, como su nombre indica, una chapa de 3mm de espesor, 12mm de alto y 70mm de ancho. El material elegido es Aluminio 1060. Está taladrada por 2 agujeros cuya distancia entre centros es de 60mm.

Se utiliza dos veces en el conjunto. Su colocación en el “conjunto base” es soldado en el vaciado de la base, de manera simétrica. Los taladros de esta chapa deben ser concéntricos a los taladros existentes en la pieza denominada Base.

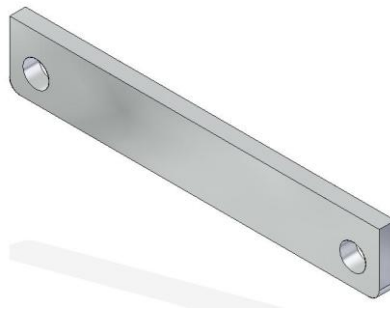


Figura 4.16. Chapa.

Sujeción.

Pieza necesaria dos veces en el montaje del “conjunto base”. Se une a la base mediante soldadura. Las dimensiones exteriores son 77mm x 20mm x 20mm. El material empleado es, al igual que las piezas anteriores, Aluminio 1060.

En el taladro de diámetro 10mm que existe en la pieza se ajusta un casquillo de deslizamiento sobre el cual rotará un eje que transmite el movimiento a las patas.

La pieza es más estrecha en su parte inferior para evitar la interferencia con los elementos de unión existentes en el montaje del prototipo.

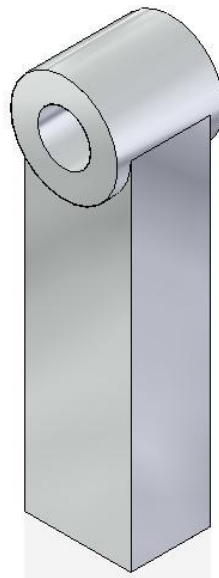


Figura 4.17. Sujeción.

Soporte Motor.

Pieza diseñada para la sujeción del motor elegido para el diseño. Si se produce un cambio de motor, hay que revisar que este soporte es el adecuado o, por el contrario, hay que redefinirlo.

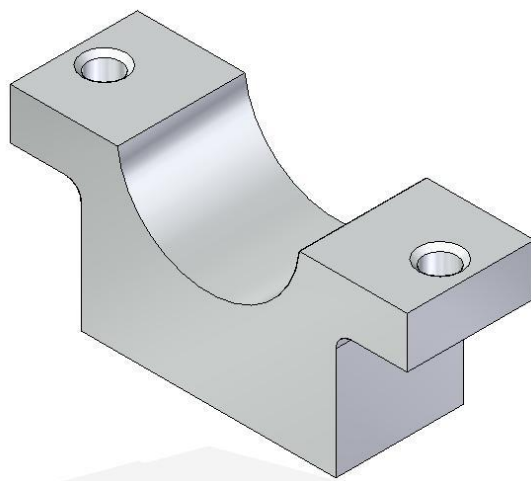


Figura 4.18. Soporte motor.

Soldado por la parte inferior a la base, este soporte posee dos taladros de diámetro 6,5mm para realizar la sujeción del motor por medio de tornillos y tuercas de métrica 6. El material empleado también es Aluminio 1060.

Soporte distribuidor.

Al igual que en el caso del motor, esta pieza está diseñada exclusivamente para posicionar al distribuidor, dibujado únicamente para dar realismo al diseño. Cuando se realice el diseño del sistema distribuidor, entonces se puede rediseñar este soporte de una manera más detallada.

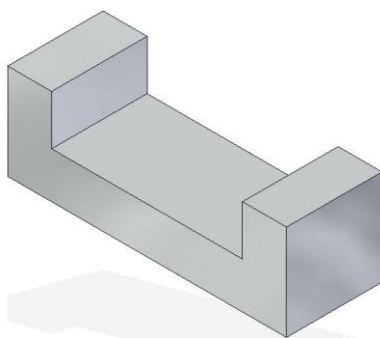


Figura 4.19. Soporte distribuidor.

Las dimensiones del soporte dependen del diseño del distribuidor. También queda pendiente el tipo de anclaje que unirá este elemento, tanto a la base como al distribuidor. En esta ocasión se propone una unión base-soporte soldada. La unión distribuidor-soporte depende exclusivamente del diseño de dicho sistema distribuidor.

Barra Principal

Llamada así porque es la pieza que más veces se usa en todo el mecanismo, 14 en total. 7 veces se usa en cada pata, 6 de ellas montada directamente en el conjunto general y 1 formando parte de un subconjunto, el tren inferior, que se detalla más adelante.

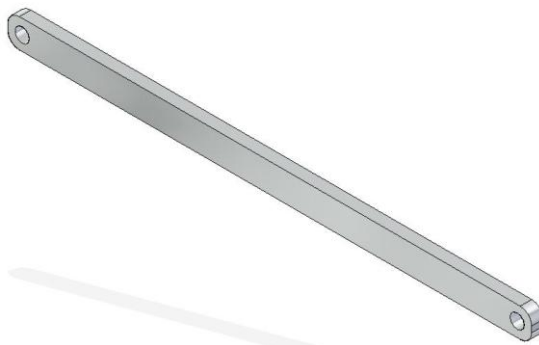


Figura 4.20. Barra principal.

Ideada para su fabricación en el material aluminio 1060 y con unas dimensiones de 182mm de longitud, 10mm de ancho y 4mm de espesor. Posee una distancia entre los centros de los dos taladros de 172mm.

La barra principal es el elemento más importante de la estructura de la pata. De hecho, la gran parte de la pata está constituida por esta pieza, junto con la barra que se ha llamado *barra transmisora del movimiento horizontal*, que se detalla con posterioridad.

Tren inferior.

El tren inferior es un conjunto de dos barras soldadas, la *barra principal*, detallada anteriormente, y la *barra enganche del tren inferior*, cuya finalidad es simplemente el nexo de unión a la barra llamada *barra transmisora del movimiento vertical*. Esta unión es muy importante, ya que es la que posibilita que el movimiento vertical del mecanismo completo sea el adecuado.

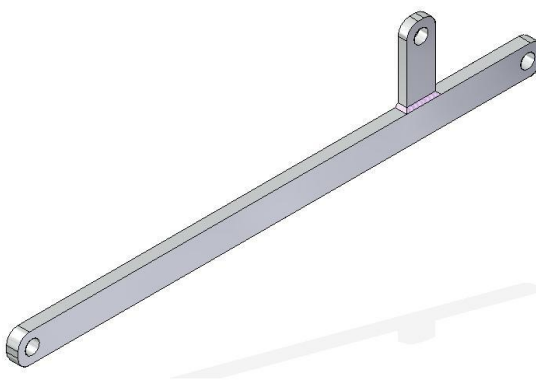


Figura 4.21. Tren inferior.

La unión está formada por un cordón de soldadura de 1mm de espesor mínimo. La distancia a la que se suelda la *barra enganche* es muy importante, ya que de ella depende

en gran parte el movimiento vertical del mecanismo. Esta distancia es, desde el centro de la *barra principal* hasta el centro del taladro de la *barra enganche*, de 50 mm. En el anexo H (*Plano determinado*) se detalla la tolerancia que hay que respetar para dicha distancia.

Enganche del tren inferior.

Esta pieza, de gran relevancia para el movimiento del mecanismo total, se usa dos veces en el conjunto general, una por cada pata (formando parte del conjunto *tren inferior*).

Sus dimensiones generales son 25mm de alto, 10mm de ancho y 3mm de espesor. El taladro de 5mm de diámetro está situado a 20 mm del borde inferior. El material es Aluminio 1060.



Figura 4.22. Enganche tren inferior.

El espesor de esta pieza, como se ha mencionado antes, es de 3mm, 1mm menos que la *barra principal*. El motivo de que este elemento se halla prediseñado con 1mm menos de espesor es para facilitar las labores de soldado y evitar interferencias con otros elementos del mecanismo.

Barra transmisora del movimiento vertical.

En principio, esta barra es muy parecida a la denominada *barra principal*. La única diferencia que posee esta barra con respecto a la anteriormente mencionada es la longitud total, y por lo tanto, la distancia entre taladros.

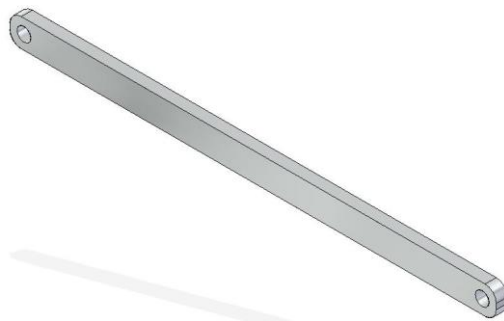


Figura 4.23. Barra transmisora del movimiento vertical.

Las dimensiones exteriores son: longitud 174mm, ancho 10mm y espesor 4mm. La distancia entre taladros es de 10mm menos que la longitud total, es decir, 164mm. El material elegido para esta barra, al igual que en las anteriores, es de aluminio 1060.

La misión de este elemento es transmitir el movimiento vertical producido por el *triangulo* al tren inferior, por medio de su unión con la pieza denominada *enganche*.

Barra generadora de movimiento horizontal

Acoplada a una de las cuatro *ruedas transmisoras* que posee el conjunto general, esta barra, unida a la *barra transmisora de movimiento horizontal*, establecen el movimiento horizontal del mecanismo.

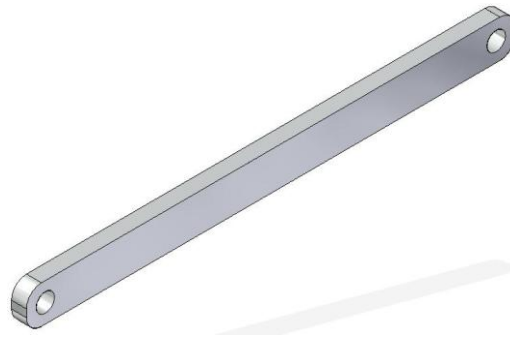


Figura 4.24. Barra generadora de movimiento horizontal.

La barra se fabrica en material aluminio 1060, con unas dimensiones de 130mm de longitud, 10mm de ancho y 4mm de espesor. Los taladros están separados entre sí 120mm.

Barra de unión.

Este elemento se puede asemejar a la rodilla humana, ya que ocupa la posición central de la pata. Es el nexo de unión entre la parte superior y la parte inferior de la pata. Su misión es la de acoplar ambas partes, formando parte de su articulación.

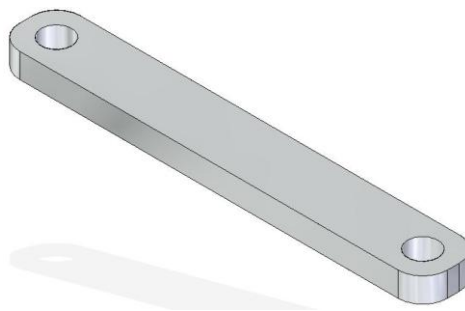


Figura 4.25. Barra de unión.

Visiblemente más corta que las demás, su longitud es de 70mm. El resto de dimensiones, ancho y espesor, es similar a la gran mayoría de barras: ancho 10mm y espesor 4mm. La distancia del centro de los taladros es de 60mm, 10mm menos que la longitud total. El material en el que se ha diseñado la barra es la misma que para el resto de barras, Aluminio 1060.

Triángulo

Elemento importante para el movimiento vertical del conjunto general. Es una de las piezas que está fijada al conjunto base por uno de sus puntos. Su principal función es la de convertir un movimiento cuasi horizontal en un movimiento prácticamente vertical. Esto es posible gracias a su forma triangular. Los taladros que sirven de unión forman un triángulo rectángulo.

Además del conjunto base, los otros dos elementos unidos al triángulo son las barras llamadas *generador de movimiento vertical* y *transmisor de movimiento vertical*. Estas uniones la convierten en una pieza esencial para el grupo de elementos encargados del movimiento vertical de la pata.

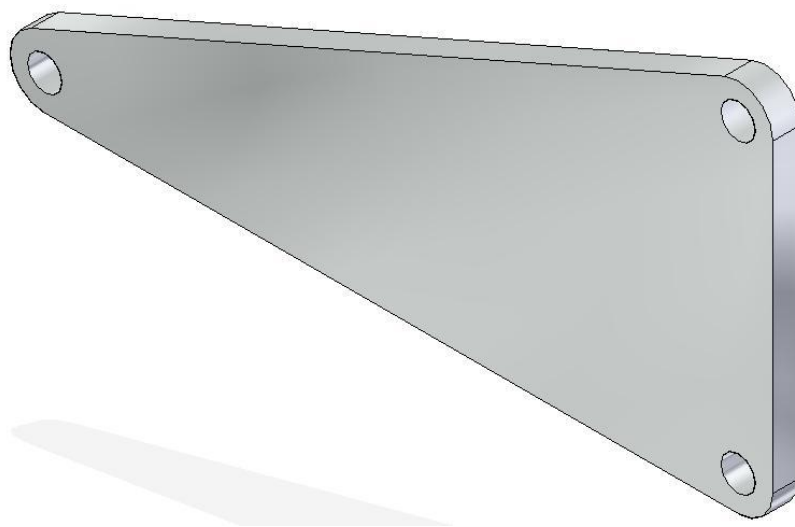


Figura 4.26. Triángulo.

El material propuesto para la fabricación es aluminio 1060. La distancia de los taladros es de 100mm y 44mm. Las líneas (imaginarias) de unión entre taladros forman un triángulo rectángulo, cuyos catetos corresponden a las distancias anteriormente mencionadas. El espesor de la pieza denominada triángulo es de 4mm. Las tres aristas que forman los vértices del triángulo están redondeadas, con un valor de radio de 5mm.

Rueda transmisora.

Como su nombre indica, esta pieza va unida a los elementos motrices para realizar la labor de transmitir el movimiento rotatorio del motor al resto de los elementos que forman el mecanismo. Aparece en el mecanismo hasta en cuatro ocasiones, dos por cada pata. Cada una de las dos ruedas de cada pata tiene como cometido transmitir el movimiento rotatorio del motor a cada uno de los grupos encargados del movimiento horizontal y vertical.

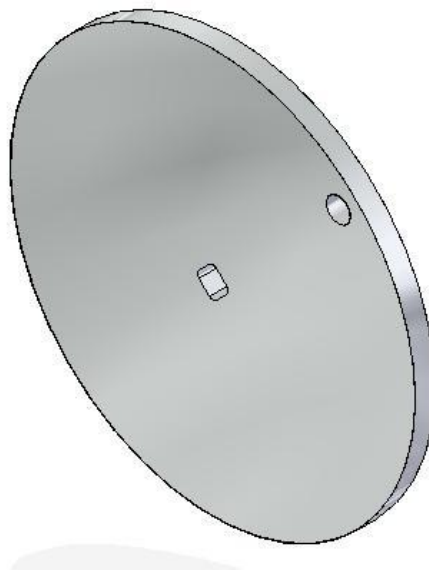


Figura 4.27. Rueda transmisora.

Chapa completamente circular, de diámetro 82mm. Posee un taladro inscrito en un círculo de diámetro 72mm. En la parte central tiene un vaciado cuadrado de lado 5mm con los vértices redondeados con un radio de 1mm, para facilitar su fabricación. La posición del taladro con respecto al vaciado central es muy importante para la realización del montaje. El material de fabricación de la rueda transmisora es aluminio 1060, con un espesor de 4mm.

El prediseño de la rueda está ideado para usarla en cuatro ocasiones en el conjunto, pudiendo dotar a cada una de ellas del desfase requerido en el mecanismo (45 grados de desfase entre ruedas pertenecientes a la misma pata, 180 grados de desfase entre patas). De esta manera se reduce el número de piezas, optimizando el diseño y minimizando a la vez los costes.

Eje.

Pieza diseñada para rotar en la sujeción del conjunto base, sobre un casquillo de deslizamiento detallado más adelante. A ambos lados del eje se montan las ruedas transmisoras pertenecientes a cada pata, con el desfase de 45 grados correspondiente. Hay que prestar especial atención a este punto del montaje, ya que si no se ensambla de manera adecuada, el mecanismo no funciona correctamente. Entre las ruedas y el eje va acoplada una de las arandelas de latón especificadas en un apartado posterior.

El mecanismo tiene dos ejes, uno por cada pata. El material de fabricación es aluminio 1060.

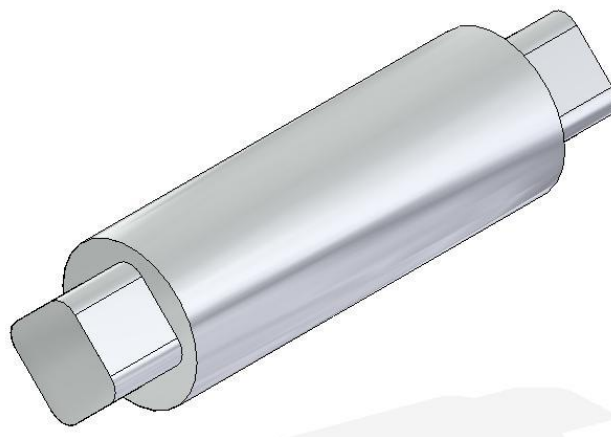


Figura 4.28. Eje.

El diámetro del eje es de 8mm y la longitud total es de 30mm. La parte circular tiene una longitud de 22mm. Las extrusiones, de dimensiones similares a las especificadas en los vaciados de la *rueda transmisora*, son simétricas con respecto al plano central del eje, de 4mm de longitud cada una.

Barra generadora de movimiento vertical.

Fabricada en aluminio 1060, esta barra se monta a través de uno de sus taladros a una de las ruedas transmisoras y por el otro taladro al triángulo correspondiente.

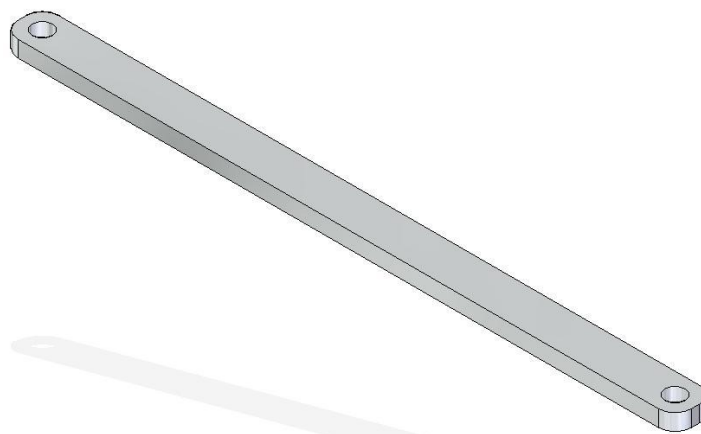


Figura 4.29. Barra generadora de movimiento vertical.

De forma similar a las principales barras del mecanismo, la barra generadora de movimiento horizontal está fabricada con las siguientes dimensiones. Una longitud total de 165mm., una distancia entre centros de los taladros de 155mm. y un espesor y ancho similares a la mayoría de las barras del mecanismo: 10mm de ancho y 4mm de espesor.

Barra transmisora de movimiento horizontal.

Esta es la barra de mayor longitud del mecanismo. A diferencia del resto de barras, la transmisora de movimiento horizontal posee tres taladros. El taladro central está unido al conjunto base. A través de esta unión, la barra transmisora de movimiento horizontal pivota.

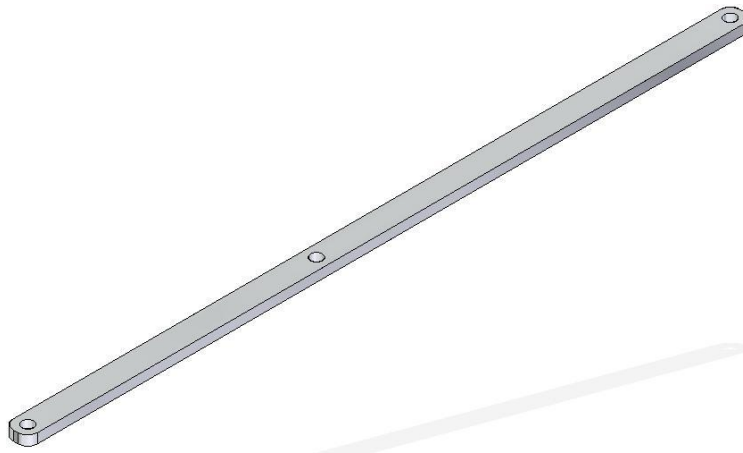


Figura 4.30. Barra transmisora de movimiento horizontal.

La longitud total de la barra es de 302mm. El espesor de 4mm y el ancho 10mm. Las distancias entre centros de taladros son de 120 mm y 172mm. El material de fabricación es aluminio1060.

Chapa soldable.

Como se ha mencionado anteriormente, se va a dotar a las patas de “tridimensionalidad”. Estas chapas se sueldan en las barras, con la función principal de dar estabilidad y firmeza a las patas. A su vez, sirve de nexo de unión entre los dos planos que forma cada pata.

La chapa utilizada es una plancha de aluminio1060 de forma rectangular con lados de 130mm por 28mm. El espesor de la chapa es 1mm.

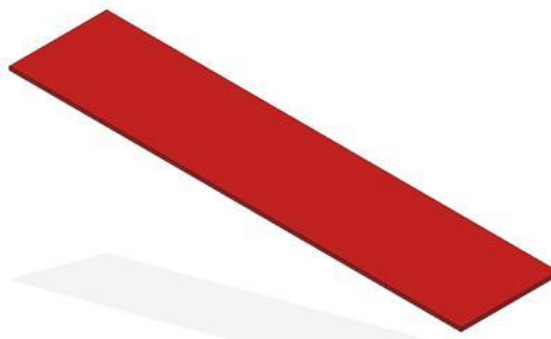


Figura 4.31. Chapa soldable.

Se sueldan tres unidades de esta chapa por cada pata, una en la parte anterior de la pata, por encima del conjunto de elementos que forman la “rodilla”, otra en la parte posterior de la pata, a la misma altura que la anterior y una última vez por debajo de la rodilla, en la parte anterior de la pata.

Chapa posterior.

Similar a la chapa soldable, pero más corta para evitar la interferencia con una de las barras que forman el tren inferior. Se suelda en la parte posterior de la pata, sobre el *tren inferior*.

Solo difiere de la chapa soldable en una de sus dimensiones. La chapa posterior es un rectángulo de 100mm por 28mm, con un espesor de 1mm. El material, al igual que en el caso de la chapa soldable, es aluminio 1060.

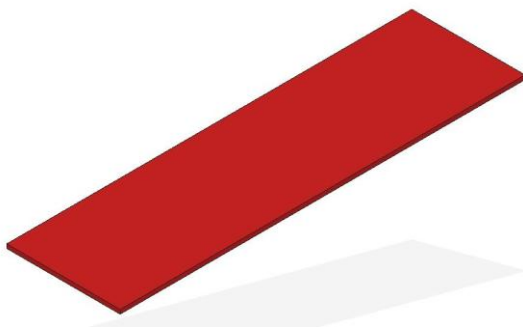


Figura 4.32. Chapa posterior.

Pie derecho.

Es el conjunto diseñado para entrar en contacto con la superficie del suelo. Está formada por dos piezas, unidas mediante cordón de soldadura. Este conjunto es el elemento que está sometido a más esfuerzos, ya que debe soportar el peso de todo el mecanismo, cuando este se encuentra apoyado con la superficie de contacto: el suelo.

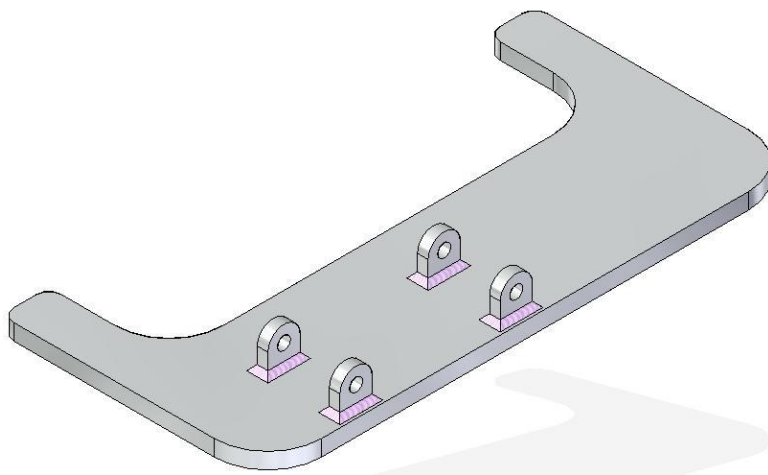


Figura 4.33. Pie derecho.

Pie.

Chapa que entra en contacto con el suelo. Está dotada de una gran superficie de contacto para evitar la pérdida de estabilidad del mecanismo. En ocasiones esta chapa va a estar apoyada sola en el suelo, soportando todo el peso de mecanismo. Por esta razón, el diseño debe tener una forma que permita mantener al conjunto general en posición vertical en todo momento.

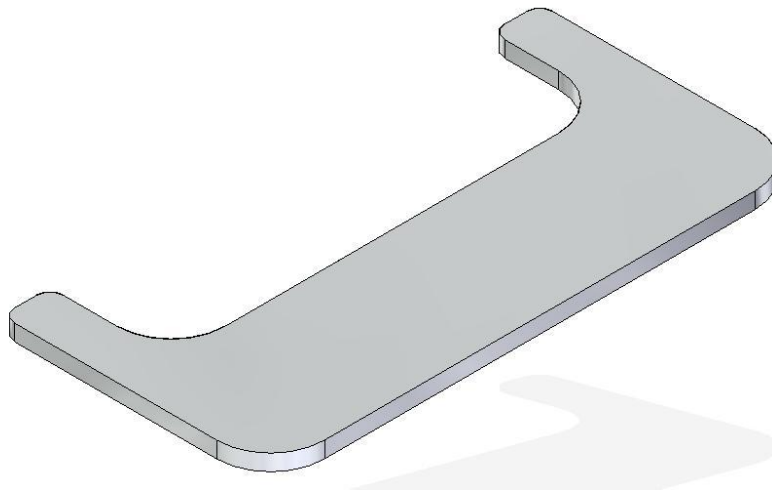


Figura 4.34. Pie.

La chapa parte de un rectángulo de 200mm por 100mm, con un espesor de 6mm. En uno de los laterales posee un vaciado de 45mm por 164mm, con las aristas interiores redondeadas con un radio de 20mm, para evitar las tensiones en dichas aristas. El material empleado es aluminio1060.

Enganche pie.

Esta pieza se utiliza en ocho ocasiones en todo el mecanismo, cuatro por cada pie. Hace las funciones del tobillo humano. Por lo tanto, el taladro que posee, y que actúa de articulación, está sometido al paso de todo el mecanismo.

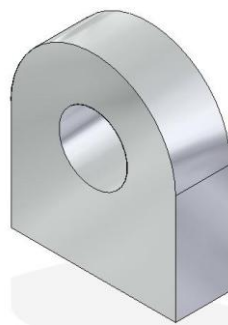


Figura 4.35. Enganche pie.

Tiene una altura total de 14mm. El taladro está situado a 8mm de la cara plana. El ancho del enganche es de 12mm y el espesor de 4mm. El material empleado es aluminio1060.

Pie izquierdo.

Es similar al conjunto del Pie derecho. Para su acoplamiento se usan los mismos elementos que en este, pero el montaje es simétrico, es decir, los enganches van soldados al otro lado del vaciado, como se muestra en la Figura 4.36.

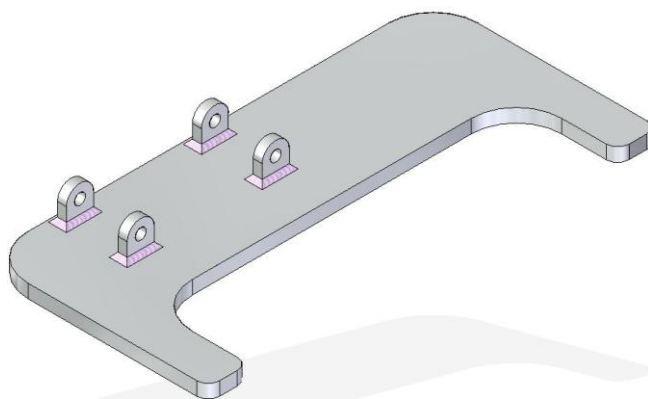


Figura 4.36. Pie Izquierdo.

4.2.3 Elementos motrices.

Motor.

El motor es el elemento encargado de transformar la energía eléctrica que se le suministra, en un movimiento rotatorio. Dicho movimiento de rotación se proporciona a través de un eje de salida.

En el presente proyecto se ha incluido un motor con el único objetivo de dotar de realismo a la propuesta final.

La elección del motor para este mecanismo ha estado basada en la experiencia obtenida por el Departamento de Ingeniería Mecánica, a través de otros proyectos de robot bípedo, como es el caso del robot SIDEMAR y los primeros diseños del robot PASIBOT.

El motor seleccionado es el *Maxon RE 36 118798*.

A través de las dimensiones proporcionadas por el fabricante, se ha diseñado el motor para poder integrarlo en el conjunto general.

En el anexo B se encuentran el documento facilitado por el fabricante, donde se puede consultar sus características principales y sus dimensiones.

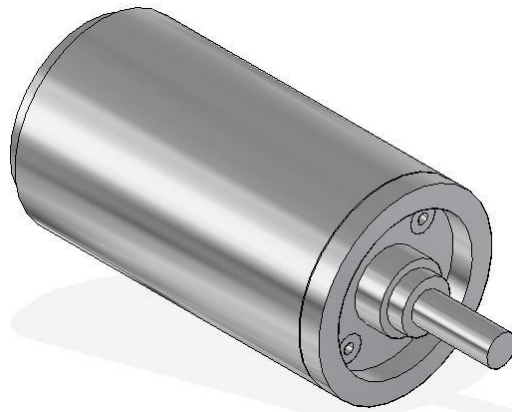


Figura 4.37. Motor Maxon RE 36 118798.

Harmonic Drive.

El harmonic drive es un mecanismo de transmisión de potencia empleado para el posicionamiento angular y la conversión del movimiento. Dicha transmisión de potencia se realiza con una relación de transmisión constante.

Al igual que en el caso del motor, se ha incluido este elemento de transmisión de potencia únicamente para dotar de realismo al prediseño final.

La elección del harmonic drive se ha basado en la experiencia del departamento a través de proyectos anteriores, como el SIDEMAR o los primeros diseños del PASIBOT.

En este mecanismo se ha montado el *Harmonic Drive HFUC-14-100-2UH*.

Se ha diseñado el harmonic drive basándose en el plano facilitado por el fabricante, documentado en el anexo C.

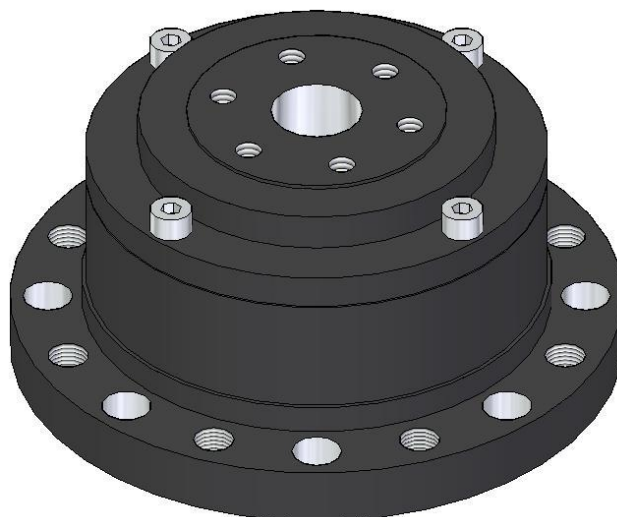


Figura 4.38. Harmonic Drive.

Además del plano, también se puede consultar los documentos con todas las características y dimensiones proporcionadas por el fabricante.

Sistema distribuidor.

En este mecanismo el distribuidor debe tener como función principal de proporcionar una velocidad en su eje de salida adecuada, teniendo en cuenta la velocidad que se introduce en su eje de entrada.

Una característica importante que se debe tener en cuenta en un futuro, al realizar el diseño del sistema distribuidor, es que los ejes de salida deben ser perpendiculares al eje de entrada.

El diseño del sistema distribuidor en este proyecto es únicamente para proporcionarle una ubicación en el conjunto general, a la vez que se dota de realismo al diseño. Las dimensiones exactas del distribuidor dependen del par que tenga que transmitir, por lo que el diseño exacto de éste solo se podrá definir tras un estudio exhaustivo del mismo, que será propuesto como una línea de trabajos futuros. En este diseño se debe plantear si se diseña un diferencial complejo o solamente es necesario el diseño de un distribuidor.

Además del distribuidor, se han diseñado dos ruedas motrices para poder unir las a las ruedas transmisoras de las patas y dotarlas de movimiento. Estas ruedas motrices se conectan a los ejes de salida del sistema distribuidor. Al igual que éste, las ruedas motrices se diseñan para dotar de realismo al diseño. En la siguiente figura se puede ver el distribuidor con las ruedas motrices montadas.

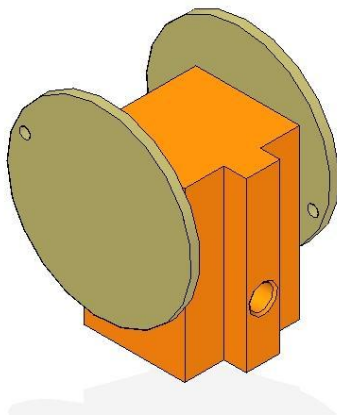


Figura 4.39. Sistema distribuidor y ruedas motrices.

4.2.4 Elementos de unión.

Además de los tornillos y arandelas, el grupo de los elementos de unión engloba también a las piezas especialmente diseñadas para el agarre o asociación del resto de elementos del mecanismo.

Agarre Motor.

Pieza diseñada para amarrar el motor, evitando así su movimiento. Conjuntamente con el elemento denominado *soporte motor*, soldado a la placa base, esta pieza oprime el motor, con la ayuda de otros elementos de unión, como tornillos y tuercas, asegurando que el motor se sitúa en la posición adecuada.

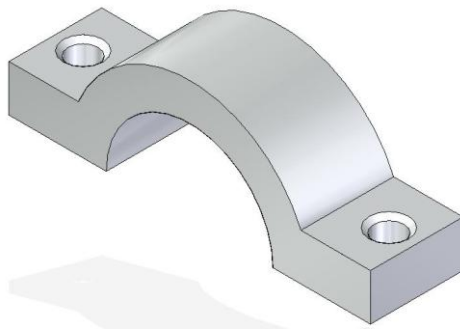


Figura 4.40. Amarre motor.

Al igual que en el *soporte motor*, la pieza tiene 2 taladros de diámetro 6,5 milímetros, para poder sujetar al motor con tornillos de métrica 6. El material de fabricación es aluminio 1060.

Soporte Harmonic Drive.

Esta pieza va sujeta al conjunto base mediante cuatro tornillos de métrica 6. El diseño está preparado para anclar el Harmonic Drive, impidiendo el movimiento de su carcasa exterior. Para este anclaje, el soporte tiene 8 taladros roscados de métrica 5. La posición de los taladros coincide con los agujeros existentes en la carcasa del Harmonic drive, como se puede verificar en el plano facilitado por el fabricante, en el anexo C.

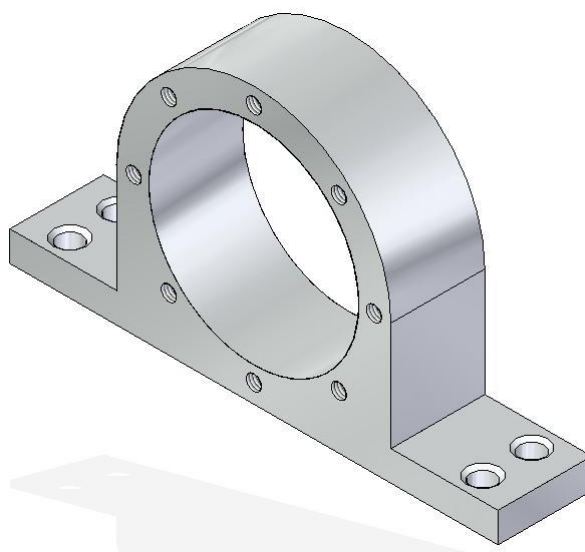


Figura 4.41. Soporte Harmonic Drive.

El material para el que está diseñado el soporte es aluminio 1060.

Casquillo de deslizamiento.

Se llama casquillo a un elemento mecánico, generalmente de acero, bronce o plástico, con forma tubular, que está mecanizada en su interior y exterior y tiene una tolerancia ajustada para insertarla en otra pieza donde tendrá diferentes aplicaciones.

Existen casquillos autolubricados, por lo que no necesitan lubricación adicional para que en el interior de ellos gire un eje libremente.

En este proyecto se ha elegido un casquillo comercial de trabajo en seco del fabricante EPIDOR. El casquillo que se monta, en dos ocasiones. En el proyecto tiene como referencia comercial 0820 DU

En el anexo D figuran los datos de propiedades y dimensiones facilitados por el fabricante.

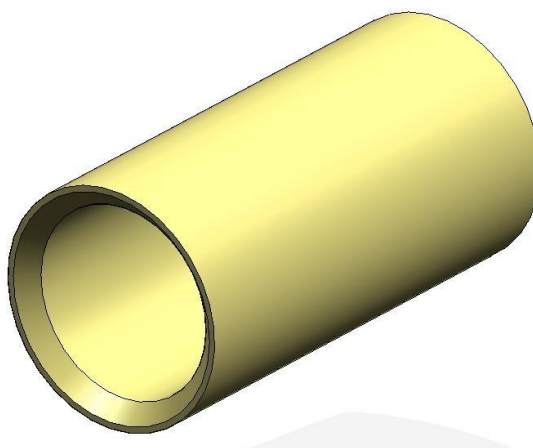


Figura 4.42. Casquillo comercial 0820 DU.

Este casquillo va situado en el conjunto base, en dos ocasiones, en la pieza llamada *sujeción*. Para su montaje es necesario un mazo, ya que esta unión está diseñada con un ajuste con apriete.

Una vez montado, en su interior se sitúa el *Eje*, mediante un ajuste deslizante.

Arandelas de fricción.

Para evitar el desgaste de las barras y demás elementos que comparten pares cinemáticos, se ha colocado una pieza de material más blando que estas. De este modo la pieza intermedia, al ser más blanda, se desgasta, preservando al resto de piezas.

En este mecanismo se han diseñado arandelas de fricción de dos tamaños:

- Las arandelas de diámetro 8mm, colocadas a ambos lados de cada uno de los ejes, para evitar la fricción directa entre la *sujeción* y las ruedas transmisoras.
- Las arandelas de menor tamaño, de 5mm de diámetro, montadas en el resto de juntas que forman los pares cinemáticos.

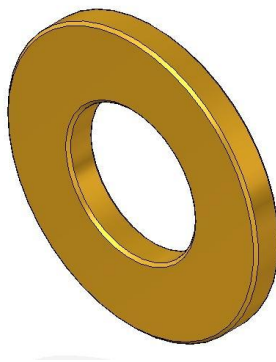


Figura 4.43. Arandela de fricción.

El material elegido para el diseño de este tipo de arandelas es Latón, ya que es más blando que el Acero usado en el resto de elementos.

Bulones.

Los bulones son las piezas cilíndricas que actúan de pares cinemáticos. Los elementos que forman un par cinemático se introducen, a través de los taladros diseñados para ello, en los bulones. Mediante este mecanismo, los elementos pueden realizar un giro relativo entre ellas.

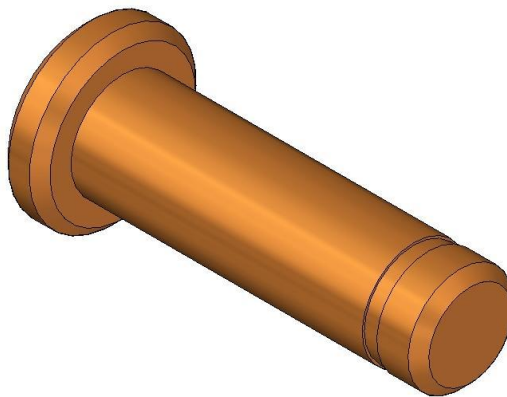


Figura 4.44. Bulón.

Para poder realizar todas las juntas, se han diseñado cinco tipos bulones diferentes. La diferencia entre estos cinco bulones radica en la longitud del cilindro. Estas longitudes⁹ son: 8mm, 9mm, 13mm, 14mm y 15mm. El resto de dimensiones son idénticas para todos los bulones.

El material con el que se han diseñado los bulones es bronce 90%.

⁹ Distancia útil para las juntas, es decir, desde el vaciado hasta el diámetro mayor (en eje x).

Anillos seeger.

Pieza comercial usada para, una vez se introducen las piezas determinadas en el bulón, montarla en el vaciado existente en dicho bulón, evitando así que las piezas se desmonten. Para el montaje de los anillos seeger se debe usar las herramientas adecuadas.

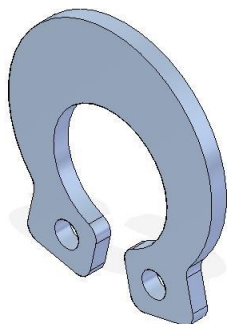


Figura 4.45. Anillo Seeger DIN 471.

Estos anillos seeger están regulados según la norma DIN 471. En el anexo E se facilitan las principales características y dimensiones proporcionadas por el fabricante.

Demás elementos de unión.

Para el resto de uniones, se han utilizado elementos de unión comunes, como tornillos, arandelas y tuercas. Todos ellos normalizados según norma DIN. Para todos los elementos de unión especificados a continuación, se ha recurrido a un fabricante, proporcionando información detallada. Dicha información se encuentra incluida en los anexos.

Tornillos DIN 933.

Los tornillos DIN 933 se caracterizan por tener la cabeza hexagonal y todo el cilindro roscado.

Se han utilizado tornillos de tres tipos:

- Métrica 6 por 20mm. de longitud. Se usan cuatro tornillos de este tipo para unir el soporte del Harmonic Drive al conjunto base.
- Métrica 6 por 35mm. de longitud. Utilizados para el amarre del motor. Para su correcta sujeción, se necesitan 2 tornillos.
- Métrica 5 por 16mm. de longitud. Necesarios 8 de estos tornillos para amarrar la reductora Harmonic drive a su soporte.

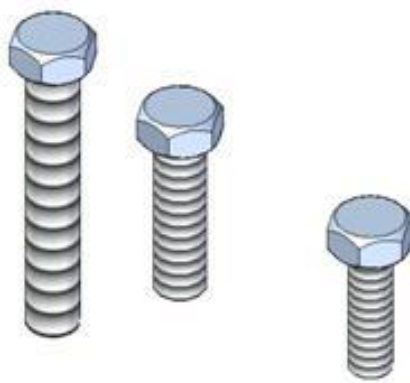


Figura 4.46. Tornillos DIN 933.

Arandelas DIN 125.

Como hay tornillos de dos diámetros distintos, se necesitan dos tipos de arandelas, una por cada diámetro de tornillo. Por lo tanto, las arandelas que se utilizan son de diámetros 5mm y 6mm. La norma que rige las arandelas seleccionadas para el diseño es DIN 125.

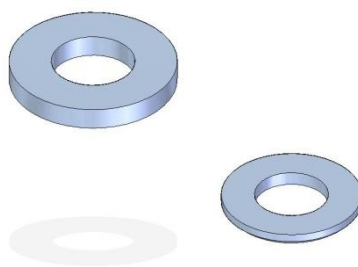


Figura 4.47. Arandelas DIN 125.

Tuercas DIN 985

Únicamente, se usan tuercas de Métrica 6, una por cada tornillo de la misma métrica. Las tuercas DIN 985 son denominadas autoblocantes. Se han montado estas tuercas para evitar que los tornillos se aflojen por el uso.

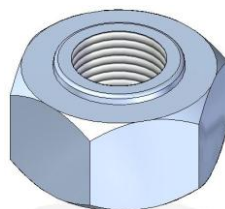


Figura 4.48. Tuerca M6 DIN 985.

Resumen de piezas y materiales.

Una vez se han descrito todos los elementos que forman el mecanismo, se resumen todos mediante una tabla, para facilitar su identificación.

Tabla 4-2. Resumen de piezas.

Identificación	Nombre	Material	Masa	Forma	Cant.
00 FABR.	RUEDA MOTRIZ	Aluminio, 1060	0,121 kg	S/M ¹⁰	2
00 FABR.	DISTRIBUIDOR	Com./fab.	0,474 kg	S/M	1
01.00.01	BARRA MOVIL	Aluminio, 1060	0,268 kg	RECT.:10x4mm	14
01.00.02	TRANS. MOV. VERTICAL	Aluminio, 1060	0,037 kg	RECT.:10x4mm	2
01.00.03	GENER. MOV. HORIZONTAL	Aluminio, 1060	0,027 kg	RECT.:10x4mm	2
01.00.04	BARRA UNION	Aluminio, 1060	0,028 kg	RECT.:10x4mm	4
01.00.05	TRIANGULO	Aluminio, 1060	0,076 kg	e: 4mm	2
01.00.06	ENGANCHE TREN INF.	Aluminio, 1060	0,004 kg	RECT.:10x4mm	2
01.00.07	RUEDA PIERNA IZQ.	Aluminio, 1060	0,227 kg	RED.:Ø 82mm	4
01.00.08	GENER. MOV. VERTICAL	Aluminio, 1060	0,035 kg	RECT.:10x4mm	2
01.00.09	TRANS. MOV. HORIZONTAL	Aluminio, 1060	0,064 kg	RECT.:10x4mm	2
01.00.10	EJE	Aluminio, 1060	0,007 kg	RED.:Ø 8mm	2
01.00.11	CHAPA SOLDABLE	Aluminio 1060, chapa estriada	0,059 kg	e: 1mm	6
01.00.12	CHAPA	Aluminio 1060, chapa estriada	0,015 kg	e: 1mm	2
01.00.13	AGARRE MOTOR	Aluminio, 1060	0,043 kg	RECT.:78x23x20mm	1
01.00.15	SOPORTE HARMONIC-DRIVE	Aluminio, 1060	0,181 kg	e:25mm	1
01.01.01	SOPORTE	Aluminio, 1060	0,144 kg	e: 3mm	1
01.01.02	CHAPA	Aluminio, 1060	0,013 kg	e: 3mm	2
01.01.03	SUJECCION	Aluminio, 1060	0,122 kg	CUAD.:20x20mm	2
01.01.04	SOPORTE MOTOR	Aluminio, 1060	0,106 kg	e:25mm	1
01.01.05	SOPORTE DISTRIBUIDOR	Aluminio, 1060	0,080 kg		1
01.02.01	ENGANCHE PIE	Aluminio, 1060	0,012 kg	RECT.:12x4mm	8
01.02.02	PIE	Aluminio, 1060	0,410 kg	e:6mm	2
0820 DU	CASQUILLO GLACIER	Aluminio, 1060	0,003 kg	COMERCIAL	2
A-05DIN125	ARANDELA Ø5	Comercial	0,003 kg	CAL 6	8
A-06DIN125	ARANDELA Ø6	Comercial	0,000 kg	CAL 6	6
AF-100501	ARANDELA	Latón, amarillo	0,023 kg	Ø5	46
AF-160801	ARANDELA	Latón, amarillo	0,005 kg	Ø8	4
AS-04DIN471	SEGER D4 DIN471	Comercial	0,007 kg	SAE 1070	36
B0508	BULON Ø 5x10	Bronce, 90%	0,021 kg	RED.:Ø 8mm	8
B0509	BULOS D5x09	Bronce, 90%	0,045 kg	RED.:Ø 8mm	16
B0513	BULOS D5x13	Bronce, 90%	0,007 kg	RED.:Ø 8mm	2
B0514	BULOS D5x14	Bronce, 90%	0,030 kg	RED.:Ø 8mm	8
B0515	BULOS D5x15	Bronce, 90%	0,008 kg	RED.:Ø 8mm	2
HFUC-14-100-2UH	HARMONIC DRIVE	Comercial	0,520 kg	S/M	1
RE 36 118798	MOTOR MAXON	Comercial	0,400 kg	S/M	1
T-0516DIN933	TORNILLO M5x16	Comercial	0,037 kg	CAL 6.8	8
T-0620DIN933	TORNILLO M6x20	Comercial	0,026 kg	CAL 6.8	4
T-0635DIN933	TORNILLO M6x35	Comercial	0,020 kg	CAL 6.8	2
TA-06DIN985	TUERCA M6	Comercial	0,018 kg	CAL 6	6

¹⁰ S/M: según modelo. Esta nomenclatura hace referencia a que dicho elemento viene especificado por el fabricante o, en el caso del distribuidor, falta algún parámetro de diseño, que se reflejará en trabajos futuros.

En la tabla, se pueden ver el número de identificación de cada pieza, el nombre por el que se ha denominado, el material y la forma de las piezas (cuando proceda), la masa aproximada y el número de veces que ha sido usada en el conjunto general.

En cuanto a los materiales empleados en las piezas de fabricación propia, es decir, los no comerciales, se ha seleccionado el tipo de material único para todos los elementos, para así reducir costes a la hora de la fabricación.

Las barras, ejes, soportes y demás piezas de este tipo, el material diseñado es Aluminio 1060.

La nomenclatura utilizada para el aluminio sigue la norma AISI-SAE, que rige la clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos.

El sistema está formado por cuatro dígitos. El primero de los dígitos especifica el elemento con mayor porcentaje de aleación. En este caso, el 1 indica que el aluminio está presente en un 99%. El segundo dígito representa el índice de impurezas. Para la aleación utilizada, el 0 representa un nivel de impurezas casi inexistente. Los dos últimos dígitos representan el valor en décimas y centésimas del porcentaje de aluminio.

Por lo tanto, la aleación de aluminio 1060 está formada por un 99.60% de Aluminio. Aunque es técnicamente puro, existe un porcentaje insignificante de impurezas, mayoritariamente de hierro.

Las arandelas de fricción necesitan ser fabricadas con un material de diferente dureza que el aluminio, ya que estas van a estar en contacto dinámico con piezas fabricadas en este material. El material empleado es Latón, una aleación de cobre con alto porcentaje de Zinc. Se parte sobre barras de Latón cuyas características se reflejan en el anexo G.

Los bulones también deben ser de material de diferente dureza que el aluminio, para evitar que las juntas se gripen. Por ello se fabrican en bronce 90%, una aleación de cobre (según el fabricante en la denominación 0-4, el bronce 90% posee un máximo de 89% de cobre, según el anexo G).

4.2.5 Conjunto general.

Tras el diseño de todas las piezas y montaje de subconjuntos, se procede a unificar todos estos elementos en un conjunto general, formando así el mecanismo final.

Para el montaje general se recomienda montar primeramente el conjunto base con todos los componentes motrices. Después, sobre éste, montar una pata entera. Una vez se tenga el montaje de una de las patas sobre el conjunto base, se procede a montar la otra pata. Cuando se termine, se habrá acabado el montaje completo.

Montaje conjunto base más elementos motrices.

En la primera fase del montaje se ensamblan al conjunto base los elementos motrices. Además, también se montan los ejes que van a transmitir el movimiento a ambas patas.

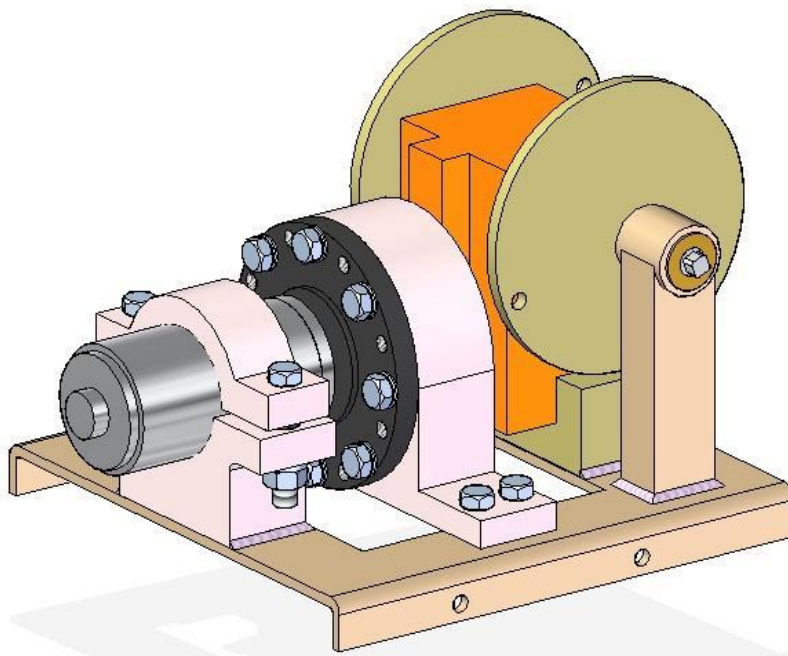


Figura 4.49. Primera fase de montaje.

Un ejemplo de montaje, paso a paso, es el siguiente:

Se comienza introduciendo los casquillos Glacier. Estos casquillos requieren una colocación especial, ya que para realizar su función, deben mantener un ajuste con apriete entre el casquillo y el soporte. Para este montaje se necesita un mazo.

Una vez colocados, se introducen los ejes en ambos casquillos. Si se ha realizado una fabricación correcta, los ejes deslizan en los casquillos glacier, ya que entre ellos se ha conseguido un ajuste de deslizamiento.

A ambos lados de los ejes se sitúan las arandelas de fricción de 8 milímetros de diámetro. Tras estas, se sitúa en su posición el distribuidor y las ruedas motrices, prestando especial atención a la posición de los taladros, ya que estos deben montarse a 180° entre ellos. A continuación se ensambla el soporte del Harmonic Drive.

Después se monta el Harmonic drive, posicionando correctamente con el eje del distribuidor¹¹, atornillándolo.

Por último se monta el motor con la entrada del Harmonic Drive y se sujeta con los elementos diseñados para ello.

¹¹ Si fuera necesario, unirlos mediante un eje previamente diseñado junto al sistema distribuidor.

En la siguiente figura se muestra el despiece de esta fase.

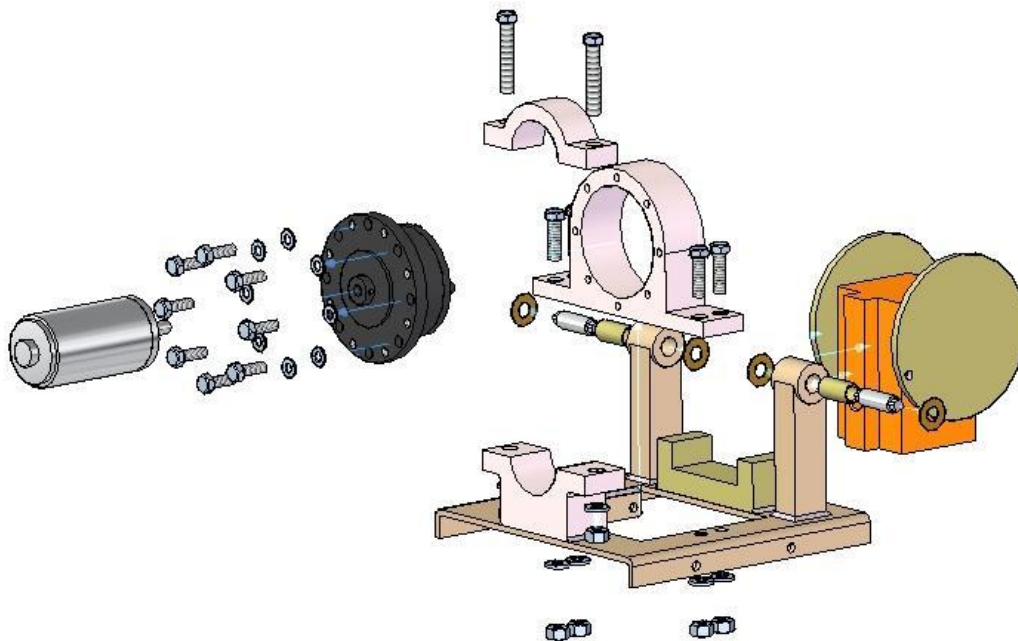


Figura 4.50. Explosionado de primera fase de montaje.

Montaje de las patas.

El montaje de las patas es de forma simétrica, por lo que no es necesario realizar un plano para cada pata, basta con plantear el montaje de una de ellas y definir un eje de simetría para el montaje de la otra pata. En el plano se debe especificar que pata se dibuja, cual es la simétrica y la posición del eje de simetría, para evitar errores en el montaje.

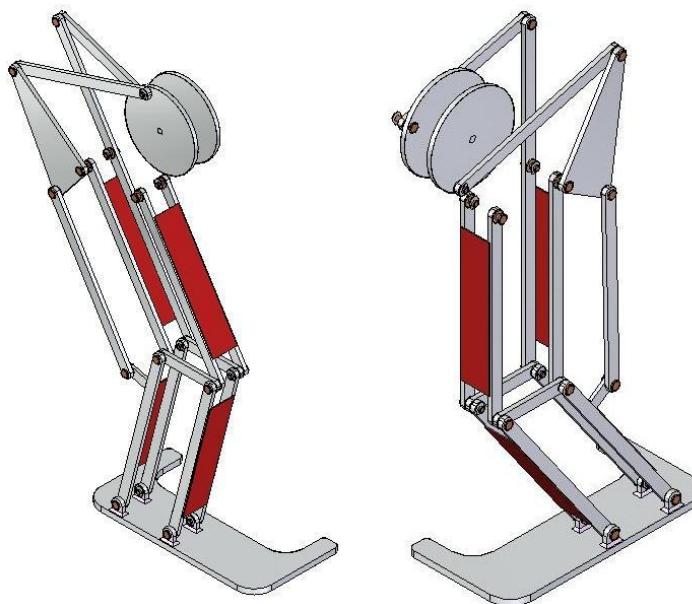


Figura 4.51. Segunda fase de montaje. Patas derecha e izquierda por separado.

Una de las formas para realizar el montaje de cada una de las patas por separado, es comenzando por los elementos que, más tarde, irán ensamblados en la base. Partiendo

de estos, se van montando uno a uno todos los elementos que forman la pata. Hay que insertar entre cada uno de los elementos principales una arandela de fricción de 5 milímetros de diámetro.

Hay que tener en consideración que, para el montaje final, hay que dejar sin ensamblar la unión formada por la barra *generadora de movimiento vertical* y la *transmisora de movimiento vertical*. Esta unión se llevará a cabo al finalizar del montaje.

En la Figura 4.51 se visualiza el montaje de ambas patas.

Para fijar los puntos de unión de dos elementos, se inserta entre los agujeros al bulón con las dimensiones correspondientes a cada una de las uniones. Una vez está insertado, en el otro lado se sitúa, con la herramienta adecuada, un anillo de seguridad o anillo seeger. Este anillo “abraza” al bulón, posicionado en la ranura circular diseñada con este fin, impidiendo así que se desmonten las piezas insertadas en dicho bulón.

A continuación se ofrece un ejemplo de montaje de una parte de la pata: el pie.

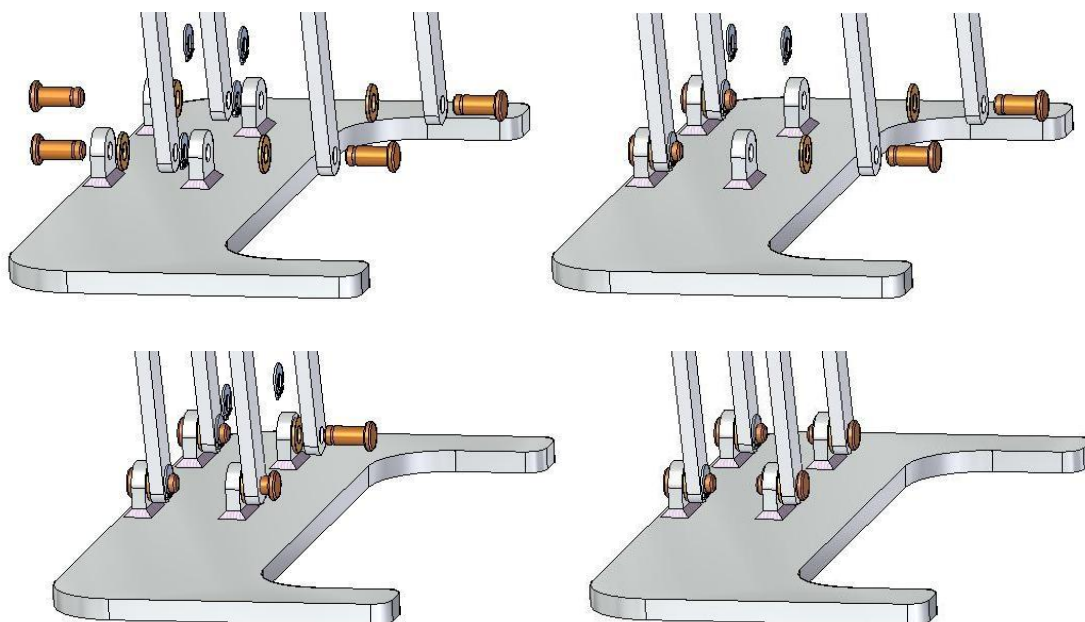


Figura 4.52. Ejemplo de montaje: Unión mediante bulones y anillos seeger.

Se puede observar en la Figura 4.52 como el anillo seeger fija la unión, permitiendo tan solo la rotación sobre el bulón. Para evitar el desgaste por rozamiento de los eslabones, fenómeno físico que puede finalizar “gripando” la articulación, se introduce entre ambos eslabones una arandela de cobre, denominada *arandela de fricción*” (Figura 4.43)

También existen uniones entre más de dos eslabones. En estos casos el mecanismo de unión es el mismo, se insertan los eslabones en el bulón correspondiente, colocando entre ellos una arandela de fricción que evite el contacto directo entre elementos

de materiales con dureza similar. Una vez colocados, se cierra la articulación con un anillo seeger.

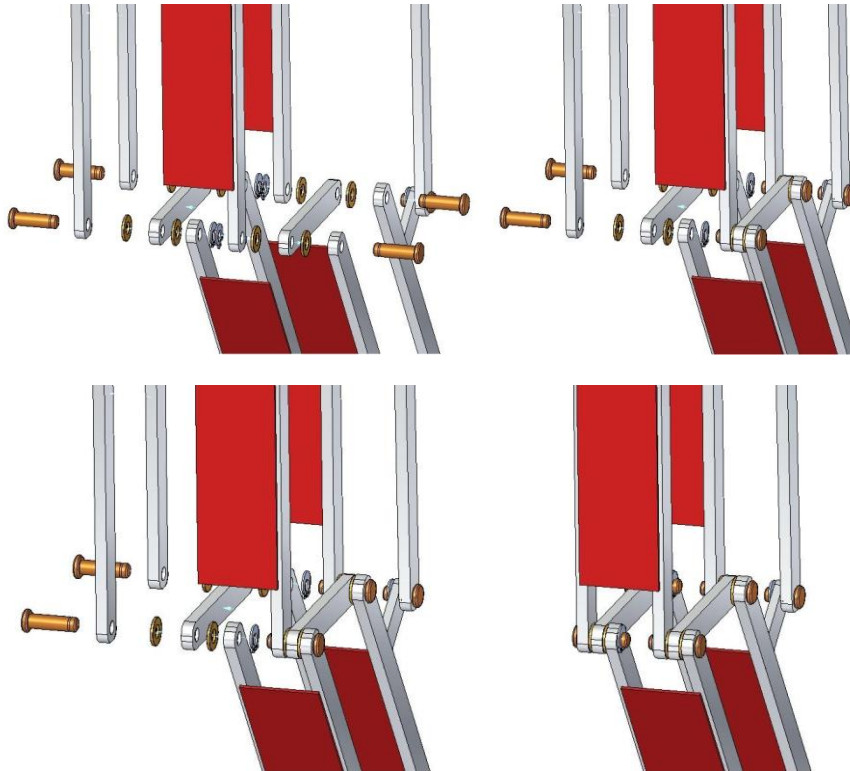


Figura 4.53. Articulación de la rodilla.

En la figura anterior se aprecia la unión entre más de dos eslabones. La articulación de la rodilla está formada por cuatro uniones de tres eslabones cada una. Entre cada pareja de eslabones se coloca una arandela de fricción.

Montaje general.

Con los elementos motrices ensamblados al conjunto base y patas montadas en su totalidad, ya se puede unir ambas patas a su lugar correspondiente en el conjunto base, finalizando así el montaje del conjunto general.

Como se ha detallado con anterioridad, la articulación formada por la barra *generadora de movimiento vertical* y la *transmisora de movimiento vertical* se termina de ensamblar en esta fase de montaje.

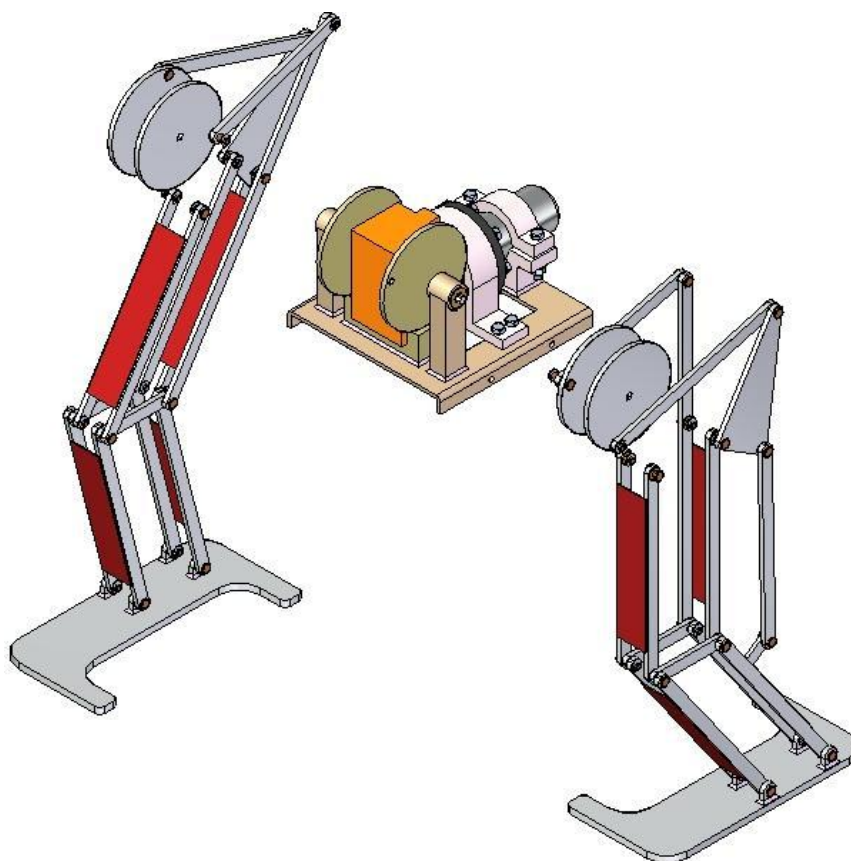


Figura 4.54. Fase final de montaje.

En el caso de unión de los eslabones con alguna parte de la base, también se interpone en dicha unión una arandela de fricción. Esta arandela tiene la misma función que en las articulaciones anteriores, evitar el rozamiento entre elementos principales del mecanismo.

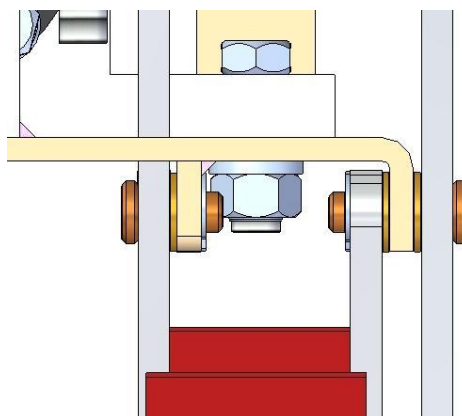


Figura 4.55. Unión de la base con una de las patas.

Una vez se han unido los tres conjuntos mostrados en la Figura 4.54, el conjunto final queda completamente ensamblado.

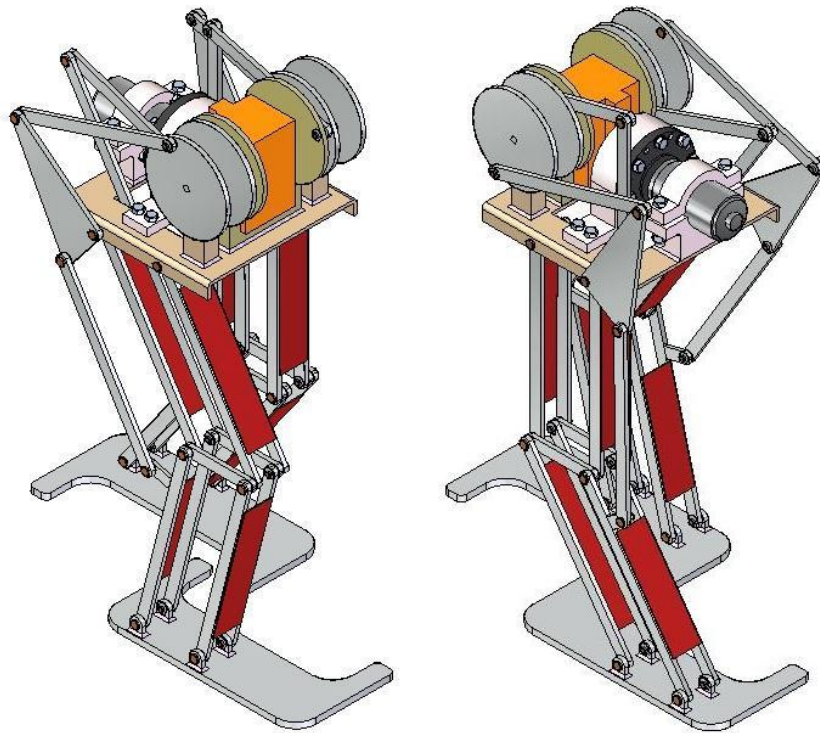


Figura 4.56. Montaje final. Vistas delantera y trasera.

Para finalizar con el apartado de diseño en Solid Edge, se va a verificar que el centro de masas del robot bípedo se encuentra en una posición que no haga peligrar la verticalidad del robot durante la trayectoria descrita en un paso. El valor de la masa total del conjunto es de 4,731 Kg.

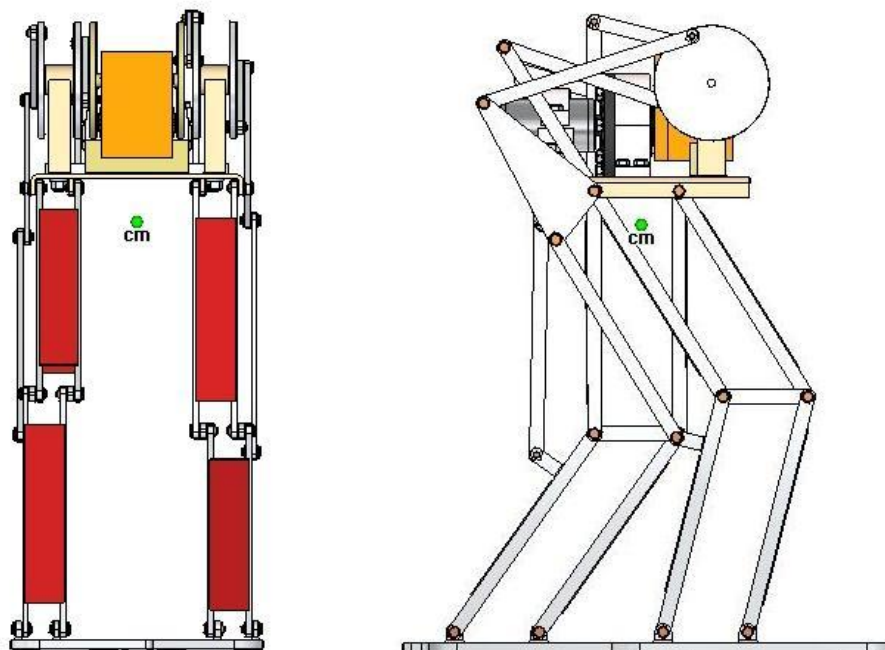


Figura 4.57. Posición de CM del conjunto.

Como se observa claramente en la Figura 4.57, el centro de masas del conjunto se encuentra entre ambos pies, garantizando así la estabilidad del conjunto durante el paso.

Se concluye aquí el diseño del prototipo en tres dimensiones. A continuación se realiza la animación del robot bípedo mediante el entorno ERA de Solid Edge ST.

4.3 Animación del robot bípedo.

El prototipo de robot bípedo está totalmente definido. Sin embargo, cuando esté en movimiento, pueden aparecer interferencias a lo largo de la trayectoria del paso. También existe la posibilidad de que esta trayectoria varíe con respecto a la verificada en el Capítulo 3: Selección del mecanismo. Esta variación en la trayectoria puede ser debida a un error a la hora de diseñar el modelo en 3D, tanto en el diseño de alguna de las piezas como, si se da el caso, al escalar el prototipo.

Para evidenciar si se ha producido algún tipo de error como los mencionados anteriormente, se realiza la simulación del movimiento del robot bípedo, mediante el Entorno ERA. Este entorno ya se ha usado anteriormente en este proyecto, para realizar los explosionados que se presentan en las figuras: Figura 4.50, Figura 4.52, Figura 4.53 y Figura 4.54

El entorno ERA (Explosionado-Renderizado-Animación) es una de las aplicaciones que se encuentra dentro del entorno Conjunto de Solid Edge. Como su nombre indica, está diseñada para complementar el conjunto creado con tres formas de presentación y análisis.

Explosionado.

Mediante el explosionado de un conjunto se pueden separar las piezas que lo forman en el sentido del montaje del conjunto. De esta forma permite observar de una manera muy visual cual es la posición de montaje de todos los elementos, facilitando así la tarea de ensamblaje al operario. También es muy útil para la identificación de las piezas en un conjunto muy extenso.

Sin embargo, en conjuntos con muchas piezas de tamaño reducido, como el que abarca este proyecto, el explosionado total puede llevar a errores en el montaje, por lo que es más útil realizar explosionados por conjuntos, en lugar que por elementos.

Un ejemplo gráfico del explosionado de un conjunto se observa en la Figura 4.50.

Renderizado.

La renderización es el proceso de generar una imagen (imagen en 3D o una animación en 3D) a partir de un modelo, usando una aplicación de ordenador. El modelo es una descripción en tres dimensiones de objetos en un lenguaje o estructura de datos estrictamente definidos. El modelo debería contener geometría, punto de vista, textura e información de iluminación. La imagen resultado de la renderización es una imagen digital.

La renderización se utiliza en la producción de imágenes en 3D para diseño computacional, efectos especiales del cine y la TV, etc.



Figura 4.58. Renderizado de robot bípedo.

Se puede apreciar el cambio de aspecto al realizar el Renderizado de una imagen si se compara la figura anterior con la Figura 4.56.

Animación.

A través de esta aplicación de Solid Edge también se puede dar movimiento a los conjuntos una vez se han montado. Solid Edge se basa en las relaciones existentes entre las piezas del conjunto para dotar así a cada una de ellas de un movimiento determinado. Para llevar a cabo la animación se debe definir con anterioridad que elemento o elementos van a ejercer de elemento motriz. Si el/los motores se definen de forma adecuada, la animación representa el movimiento del conjunto tal y como sería en la realidad.

4.3.1 Animación de un paso.

Para estudiar con detalle la animación del robot bípedo se va a representar la trayectoria correspondiente a un paso completo, es decir, el giro completo de las ruedas transmisoras, 360°.

El primer paso para lograr la animación es la elección del “motor”. En este caso se podría definir el motor tanto en cualquiera de las ruedas transmisoras, como en cualquiera de las ruedas motrices, ya que las relaciones definidas entre ellas, permitirían el movimiento pretendido. Cualquiera de los dos elementos denominado *eje* también transmitiría al robot bípedo el movimiento correcto.

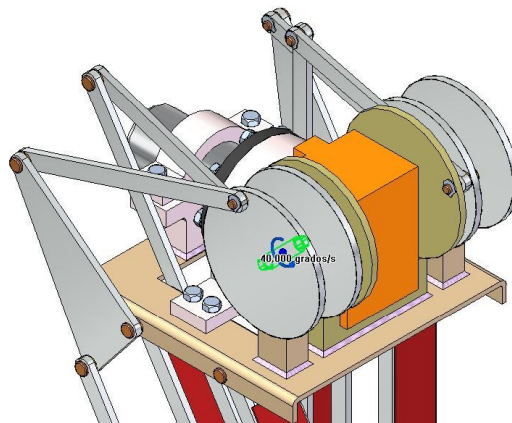


Figura 4.59. Elección del motor.

Como se observa, el motor se ha definido en uno de los ejes, el correspondiente a la pata derecha del robot bípedo. La velocidad elegida, es de 40 grados/s¹².

Con el motor definido, Solid Edge está preparado para calcular la animación. Para la representación de la animación en el proyecto, se han proyectado 12 imágenes que unidas simbolizan el paso completo.

Además examinando con más detenimiento la secuencia en tres dimensiones se aprecia como no existen interferencias entre ninguno de los elementos.

Los elementos más críticos para encontrar interferencias son ambos pies entre sí, ya que al cruzarse entre ellos (pasos 1, 6, 7 y 12 de la Figura 4.63) existe una distancia relativamente pequeña, lo que en un principio podía suponer una interferencia entre ellos. Sin embargo y tras el estudio de la animación del robot bípedo, se desecha esta posibilidad.

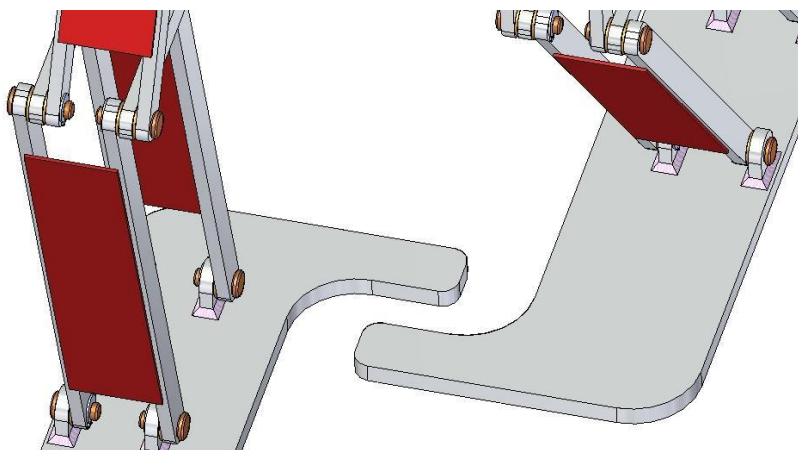


Figura 4.60. Distancia mínima entre ambos pies.

¹² La velocidad real del mecanismo dependerá de la elección final del motor a del diseño del distribuidor.

La secuencia de un paso muestra el comportamiento del mecanismo durante el giro de media vuelta del motor, o lo que es lo mismo, 180° . Durante la secuencia se observa el movimiento que realizan ambas patas. En el comienzo, los elementos que forman los pies, están ambos a la misma altura, simulando su contacto con el suelo. A medida que avanza la secuencia se simula el levantamiento de la pata que se encuentra atrasada y el posterior posado en el suelo, esta vez en una posición más adelantada que la pata que se mantiene en contacto con la superficie.

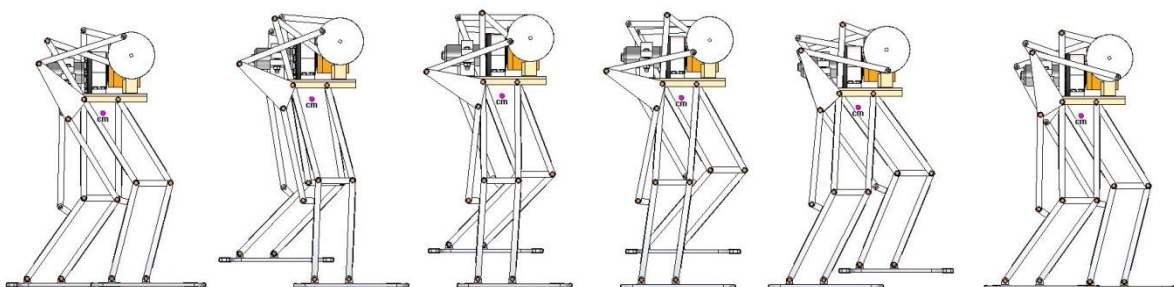


Figura 4.61. Secuencia del primer paso.

Los siguientes 180° de giro del motor completan la secuencia hasta que el robot vuelve a la posición inicial. En este caso es la pata que anteriormente simulaba el contacto con el suelo, la que avanza colocándose nuevamente por delante de la otra pata.

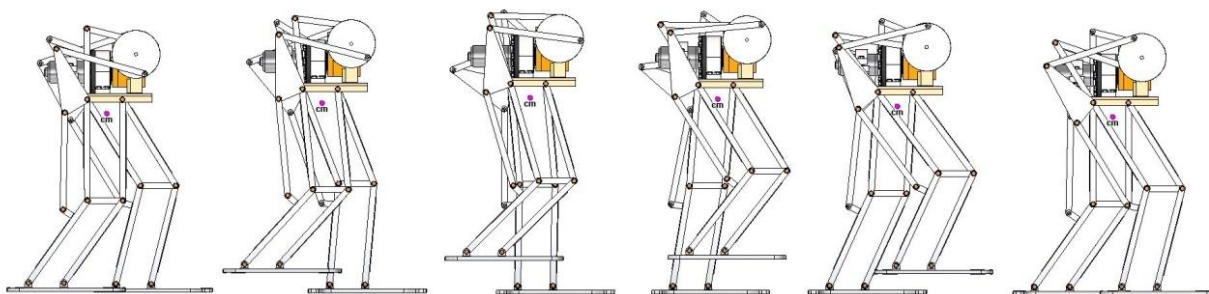


Figura 4.62. Secuencia del segundo paso.

Por último se observa la secuencia completa de dos pasos, correspondiente a un giro completo del motor. Se puede apreciar como la trayectoria generada del robot bípedo en 3 dimensiones es similar a la conseguida con el prototipo en 2 dimensiones.

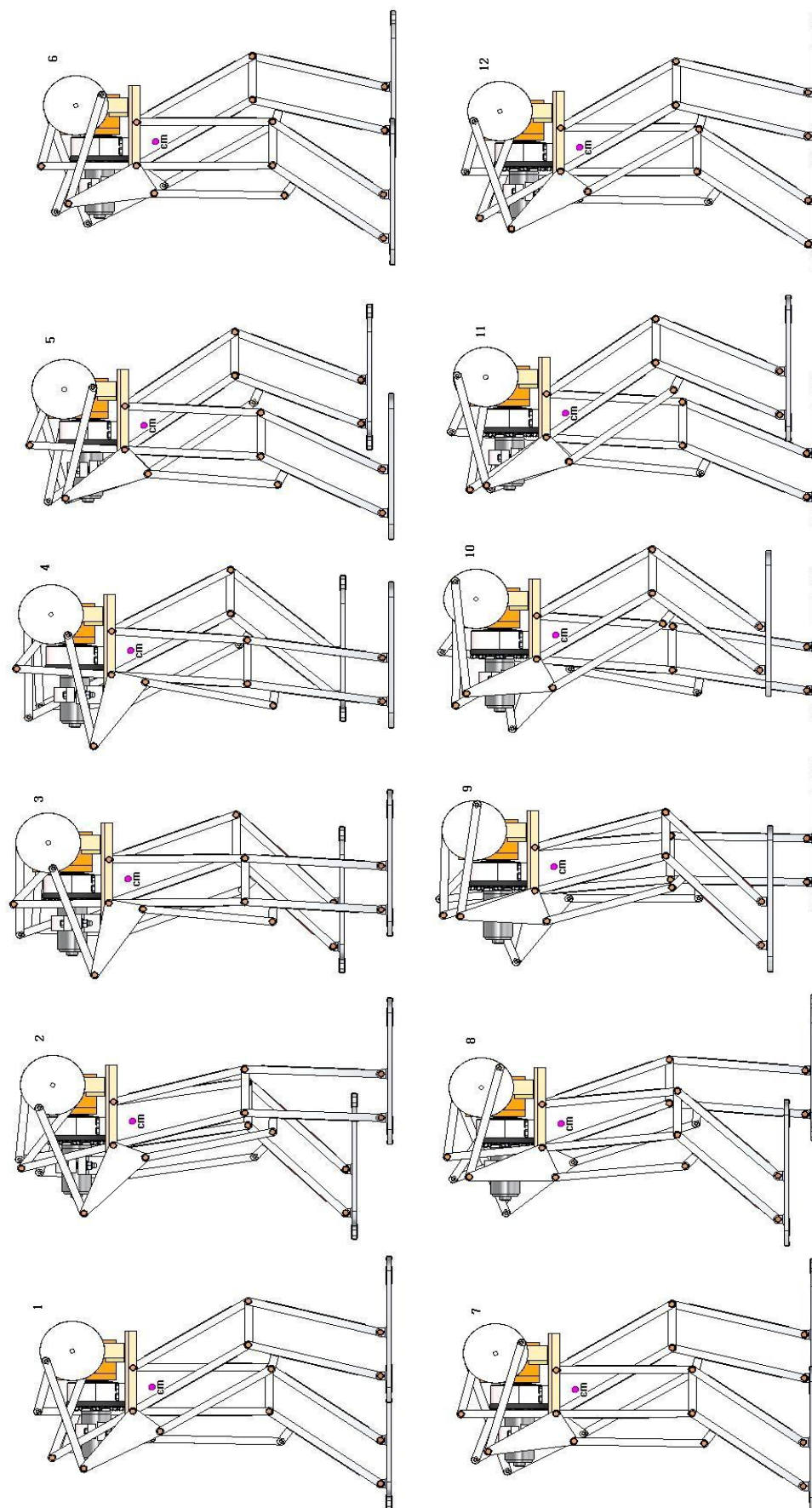


Figura 4.63. Secuencia de un ciclo de pasos.





Capítulo 5

Conclusiones. Trabajos futuros



5.1 Conclusiones.

Al final del proyecto se puede concluir afirmando que se han alcanzado con éxito todos y cada uno de los objetivos propuestos al comienzo del mismo. Se ha conseguido cumplir el objetivo principal:

“Elaborar una propuesta de diseño mecánico de un mecanismo desmodrómico que reproduzca el comportamiento de un robot bípedo con diseño basado en la funcionalidad de la pierna humana”.

Tras varios prototipos, se ha obtenido un prediseño basado en eslabones articulados entre sí, con un único grado de libertad, de tal forma que el prototipo final es capaz de desarrollar la trayectoria completa de la pierna. La conclusión final de este proyecto es el prediseño del modelo en sí (Figura 5.1):

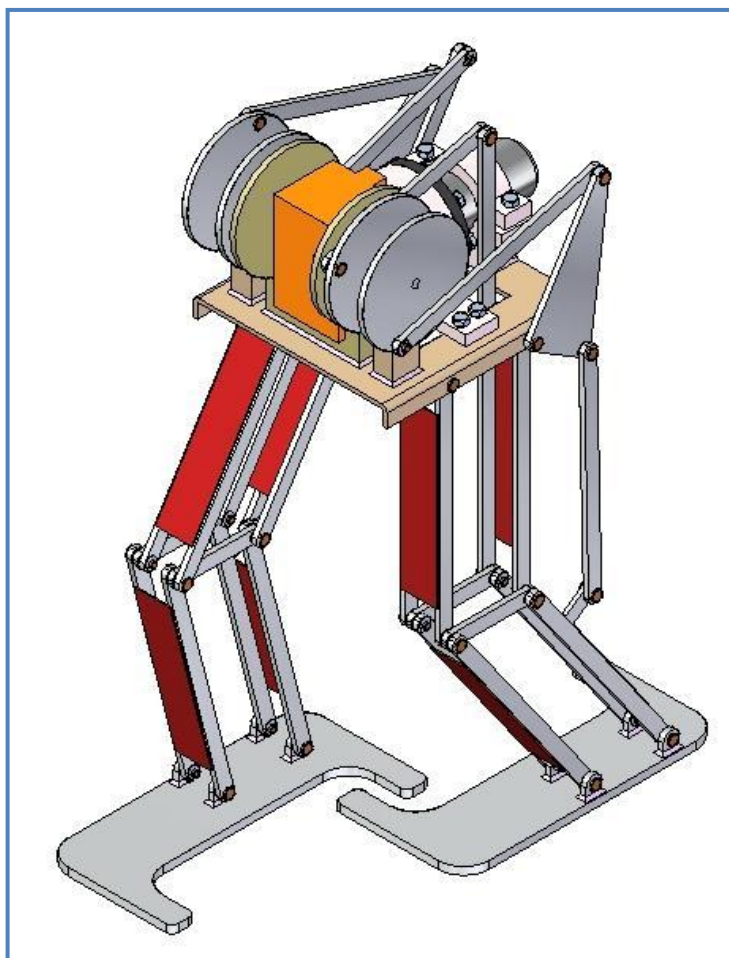


Figura 5.1. Propuesta final del bípedo.

Además del cumplimiento del objetivo principal, se han alcanzado las siguientes conclusiones y aportaciones:

- Se presenta un modelo de una pata de robot en 2 dimensiones con un grado de libertad cuyo eslabón situado en la parte inferior del mecanismo realiza una trayectoria que se asemeja a la de un pie de una pierna humana cuando está realizando un paso.
- Se ofrecen gráficas elaboradas a partir de los datos obtenidos en el programa Working Model que avalan la viabilidad del prototipo.
- Se transforma el prediseño a un modelo en 3 dimensiones, basándose en el prototipo conseguido. Este prediseño se compone de dos patas semejantes, unos pies simétricos y una base, donde se sincroniza el movimiento de ambas patas y porta un motor y el resto de elementos necesarios.
- Se realizan animaciones por ordenador a través del programa Solid Edge S.T., en las cuales se aprecia al prototipo final realizando varios pasos. Además se representa un ejemplo de montaje. Este montaje comienza con el despiece de la totalidad de las piezas y termina con el mecanismo completamente montado y en funcionamiento.
- Se completa el proyecto con la realización de los planos de todos los elementos no comerciales que se incluyen en el mecanismo.

5.2 Trabajos Futuros.

Para finalizar el presente Proyecto Fin de Carrera se proponen una serie de estudios que continúan la línea de trabajo que se ha ido desarrollando en este documento. Dichos trabajos están orientados a complementar la información aquí propuesta y el análisis de futuras modificaciones.

Los desarrollos futuros propuestos son:

- *Diseño optimizado.*

Mejorar y consolidar el diseño inicial de los elementos que forman el mecanismo con el fin de facilitar la fabricación del mecanismo, mejorar su geometría, cinemática y/o reducir costes de fabricación-montaje. Efectuar un estudio dinámico del modelo (con posibles propuestas de mejora: optimización del mismo).

- *Elección del conjunto accionador adecuado.*

Conocidas las especificaciones mecánicas del modelo propuesto, estudio y diseño de un sistema distribuidor o diferencial, representado en la propuesta de diseño. Elección del motor y Harmonic Drive adecuado. Cuando se halla determinado el conjunto accionador se debe redefinir los elementos de sujeción y equilibrado (posibilidad de un volante de inercia), si fuera necesario.

- *Estudios del comportamiento del mecanismo cuando se encuentra sometido a cargas diversas.*

A través de software adecuado, como Ansys, Adams o la herramienta Femap de Solid Edge ST, realizar diversos estudios, tales como cálculos de fuerzas estáticas y dinámicas, análisis Modal, estudio del pandeo de cada una de las barras, etc.

- *Estudio de materiales.*

Estudiar el cambio de materiales del mecanismo, con el fin de modificar sus propiedades mecánicas para evaluar diferentes aplicaciones.





Capítulo 6

Estimación del coste del PFC



Para finalizar, se ha realizado una estimación del coste del proyecto fin de carrera. Se presenta mediante un modelo genérico de presupuesto.

El modelo de presupuesto incluye los siguientes puntos:

- Empresa. En este caso representada por la Universidad Carlos III de Madrid
- Autor. Principal responsable del proyecto.
- Departamento. Para éste proyecto, Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Descripción del proyecto. Este punto consta del título, la duración y la tasa de los costes indirectos.

Además de los costes directos, hay que añadir un porcentaje a los costes indirectos que genera el proyecto. Estos costes se atribuyen a tareas y material que no es posible cuantificar de una forma exacta. En el presupuesto presentado a continuación (Tabla 6-1) se han estimado unos costes indirectos del 20%.

- Presupuesto total. Donde se indica la estimación del valor total del proyecto.
- Desglose de costes directos.

El desglose de costes se ha dividido en cuatro grupos:

- Personal.

Estimación del coste de todo el personal que ha intervenido en el proyecto. En este caso, El personal se fracciona en tres categorías, Ingeniero Senior, personificado en el director de proyecto, D. Higinio Rubio Alonso, Ingeniero, representado por el autor del proyecto, Daniel Mora García-Uceda, y personal administrativo, donde se estima el valor del personal administrativo, encargado de la documentación y redacción del texto.

- Equipos.

En este grupo se estima la amortización del conjunto de equipos que se han utilizado para la realización del proyecto. También se incluyen las licencias del software, excluyendo el contenido en el ordenador (En este caso, sistema operativo y paquete de ofimática)

- Subcontratación.


Apartado en el que se desglosan todas las tareas que requieran de subcontratación a empresas externas, por ejemplo, en proyectos que requieran obra civil. Este apartado queda en blanco, ya que no se estima la participación de otras empresas para la realización de los objetivos enmarcados en el presente proyecto

- Resto de costes directos.

Se establece en este apartado los costes generales que faltan por detallar, tales como dietas, viajes y materiales fungibles. Es en este apartado donde se ha incluido el coste de la impresión de la memoria en papel y las copias electrónicas.

- Resumen de costes. Se representa mediante una tabla donde se especifican los costes totales de cada apartado.

Tabla 6-1. Presupuesto del PFC.

 UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID Escuela Politécnica Superior						
PRESUPUESTO DE PROYECTO						
1.- Autor:						
Daniel Mora García-Uceda						
2.- Departamento:						
Ingeniería Mecánica						
3.- Descripción del Proyecto:						
- Título	Prediseño de un mecanismo desmodrómico para un robot bípedo.					
- Duración (meses)	6					
Tasa de costes indirectos:	10%					
4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):						
25,141.72 Euros						
5.- Desglose presupuestario (costes directos)						
PERSONAL						
Apellidos y nombre	N.I.F. (no rellenar - solo a título informativo)	Categoría	Dedicación (hombres mes) ^{a)}	Coste hombre mes	Coste (Euro)	Firma de conformidad
Higinio Rubio Alonso (PDI)		Ingeniero Senior	1/2	4,289.54	2,144.77	
Daniel Mora García-Uceda		Ingeniero	6	2,694.39	16,166.34	
Personal administrativo		Administrativo	1	1,650.00	1,650.00	
Hombres mes 7.5				Total	19,961.11	
^{a)} 1 Hombre mes = 131,25 horas. Máximo anual de dedicación de 12 hombres mes (1575 horas) Máximo anual para PDI de la Universidad Carlos III de Madrid de 8,8 hombres mes (1.155 horas)						
EQUIPOS						
Descripción	Coste (Euro)	% Uso dedicado proyecto	Dedicación (meses)	Periodo de depreciación	Coste imputable ^{d)}	
Ordenador (S.O. + Ofimática)	1,860.00	100	6	36	310.00	
Impresora Laser a color	550.00	100	6	36	91.67	
Solid Edge ST	6,000.00	100	3	12	1,500.00	
Working Model 2D	1,800.00	100	3	12	450.00	
Photoshop 7.0	3,200.00	100	1	24	133.33	
Total					2,485.00	
^{d)} Fórmula de cálculo de la Amortización: $\frac{A}{B} \times C \times D$ <p> A = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado B = periodo de depreciación (60 meses) C = coste del equipo (sin IVA) D = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%) </p>						
SUBCONTRATACIÓN DE TAREAS						
Descripción	Empresa	Coste imputable				
Total		0.00				
OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO^{e)}						
Descripción	Empresa	Costes imputable				
Impresión memorias		390.00				
Copias electrónicas		20.00				
Total		410.00				
^{e)} Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores, por ejemplo:						
6.- Resumen de costes						
Presupuesto Costes Totales	Presupuesto Costes Totales					
Personal	19,961					
Amortización	2,485					
Subcontratación de tareas	0					
Costes de funcionamiento	410					
Costes Indirectos	2,286					
Total	25,142					

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de **25.142€**.



Capítulo 7

Bibliografía



7.1 Referencias bibliográficas.

- [5] BERMEJO, Sergi. *Desarrollo de robots basados en el comportamiento*. 1ª Edición. Barcelona, 2003. ISBN: 8483017121.
- [6] RENTERIA, Arantxa. RIVAS, María. *Robótica Industrial. Fundamentos y aplicaciones*. 1ª Edición. Madrid: McGraw Hill, 2000. ISBN: 8448128192.
- [12] GUEREDIAGA OLALLA, Leire. *Manual práctico Solid Edge ST2*. 1ª Edición. Vizcaya: Servicios informáticos DAT S.L., 2009. ISBN-13: 9788461367672.
- [13] SHIGLEY, Joseph Edward. UICKER JR., John Joseph. *Teoría de máquinas y mecanismos*. 1ª Edición: México: McGraw Hill, 1988. ISBN: 968451297X.
- [14] BARRIENTOS, Antonio. PEÑÍN, Luis Felipe. BALAGUER, Carlos. ARACIL, Rafael. *Fundamentos de la robótica*. 2ª Edición. España: McGraw Hill, 2007. ISBN: 9788448156367.
- [15] RAMOS BARBERO, Basilio. *Dibujo técnico*. 2ª Edición. Madrid: AENOR N.A., 2000. ISBN: 848143261X

7.2 Páginas de internet.

- [1] Robotic industries association [en línea]. <http://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-News/North-American-Robotics-Market-Rises-13-in-First-Nine-Months-of-2004/content_id/771> [Última consulta: junio de 2010].
- [2] United Nations Economic Commission for Europe [formato pdf]. <http://www.unece.org/press/pr2003/03stat_p05s.pdf>. [Última consulta: junio de 2010].
- [4] IFR. [en línea]. <<http://www.ifr.org/>>. [Última consulta: mayo de 2010].
- [7] ABADIA DIGITAL V4.0 [en línea]. <<http://www.abadiadigital.com/articulo/wabot-la-familia-de-robots-humanoides-de-la-universidad-de-waseda>>. [Última consulta: junio de 2010]
- [8] ABADIA DIGITAL V4.0 [en línea]. <<http://www.abadiadigital.com/articulo/historia-de-los-robots-de-honda-del-proyecto-e0-a-asimo/>>. [Última consulta: junio de 2010]
- [9] SONY [en línea]. <<http://www.sony.cl/qrio>>. [Última consulta: junio de 2010]
- [10] DESING SIMULATION TECHNOLOGIES [en línea]. <<http://www.design-simulation.com/WM2D/index.php>>. [Última consulta: mayo 2010].
- [11] SOLID EDGE VELOCITY SERIES [en línea]. <<http://www.solidedge.es/>>. [Última consulta: junio 2010].

7.3 Artículos y publicaciones.

- [3] GUIZZO, Erico. "The rise of the machine". *IEEE Spectrum*. Diciembre, 2008.
- [16] GALLARDO MIELGO, Jorge. *Estudio de la implantación de habilidades a un robot bípedo*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2008.
- [17] TEJEDOR LINARES-RIVAS, Ignacio. *Diseño y análisis estructural del robot bípedo PASIBOT*. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés, 2008.
- [18] GARCÍA PRADA, Juan Carlos. RUBIO ALONSO, Higinio. CASTEJÓN SISAMÓN, Cristina. *Prácticas de Laboratorio de Teoría de Máquinas y Mecanismos*. Copy Red S.A., Madrid (España), 2006.
- [19] CASTEJÓN SISAMÓN, Cristina. *Análisis cinemático de máquinas y mecanismos, Apuntes de la asignatura Teoría de Máquinas*. Universidad Carlos III de Madrid. España, 2008.

Anexos

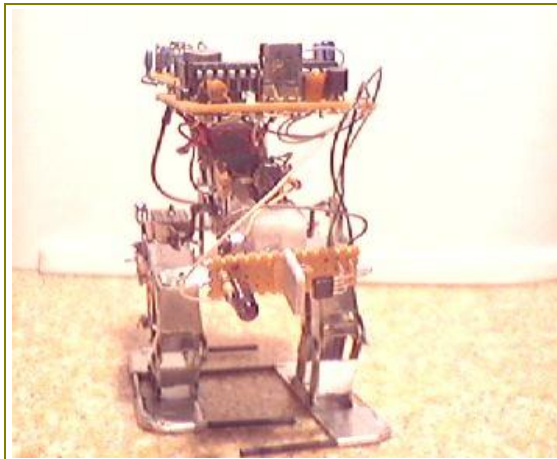


A. Minibiped.

(built 2002)

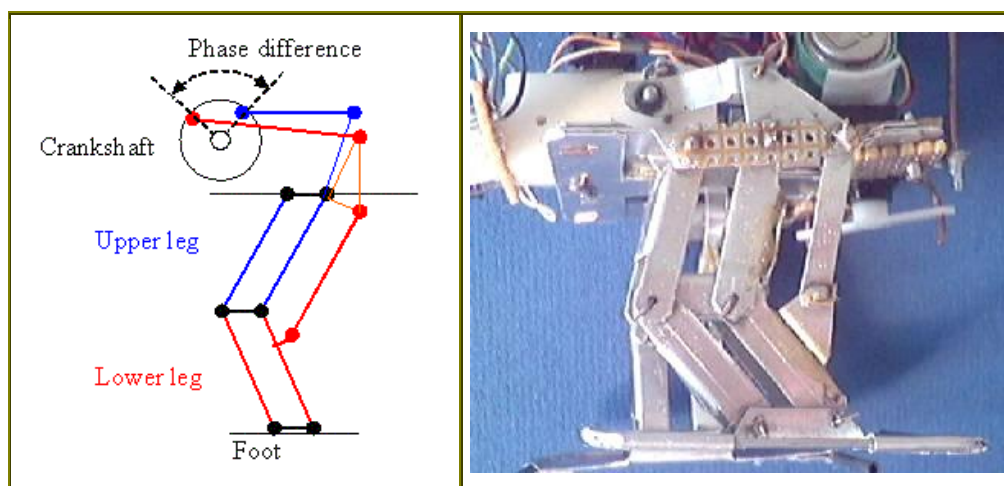
The robot is constructed of aluminum plate, and the construction itself weights about 15 grams¹³.

. Each leg segment is 2 cm long and the footprint is about 5*5 cm. This construction is just able to carry the battery and electronics. The electronics are a bit heavy right now, and I'm considering to use SMD parts instead.



- 10cm height, 5cm width, 8cm depth
- weights 80g
- power consumption approx. 0.5 Watts
- 2 degrees of freedom
- Controlled by a PIC16F872 @ 15MHz
- Can walk autonomously, can make curves.
- Simple object and sound detection.
- Typ. speed 3 m/min

The legs are constructed as parallelograms in order to let the biped stand during the whole phase of a step. Also a fork-like foot construction is used to prevent the Biped from falling sideward. I used Aluminum plate (0.5 mm thick) for the construction, and some copper wire for the joints.



Working principle of the leg mechanism. Red colored are the lower leg parts, the upper leg parts are colored blue. Each dot represents a rotation point.

¹³ Texto Original e información completa en la página web:
<http://home.planet.nl/~havinga1/minibiped/minibiped.htm>

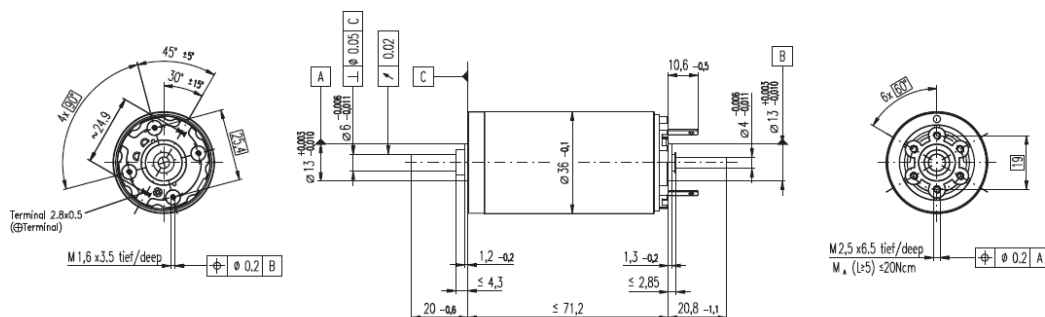


B. Motor Maxon RE 36 118798.

Dimensiones y características facilitadas por el fabricante.

RE 36 Ø36 mm, Graphite Brushes, 70 Watt

maxon special program



M 1:2

- ☒ Stock program
☐ Standard program
☐ Special program (on request)

Order Number

118797 118798 118799 118800 118801 118802 118803 118804 118805 118806 118807 118808 118809 118810

Motor Data

Values at nominal voltage

1	Nominal voltage	V	18.0	24.0	32.0	42.0	42.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
2	No load speed	rpm	6610	6210	6790	7020	6340	6420	5220	4320	3450	2830	1780	1420	1180		
3	No load current	mA	153	105	88.6	70.4	61.4	54.6	41.6	32.6	24.7	19.5	15.2	11.5	8.97	7.31	
4	Nominal speed	rpm	5880	5530	6120	6350	5660	5740	4520	3600	2720	2090	1530	1010	651	390	
5	Nominal torque (max. continuous torque)	mNm	70.2	78.2	77.1	77.9	79.9	79.5	81.5	82.2	83.6	84.1	84.1	83.8	84.1	83.1	
6	Nominal current (max. continuous current)	A	2.90	2.25	1.82	1.45	1.33	1.18	0.978	0.813	0.660	0.545	0.439	0.343	0.275	0.226	
7	Stall torque	mNm	730	783	832	866	786	785	627	504	403	326	258	198	158	127	
8	Starting current	A	28.6	21.5	18.7	15.3	12.6	11.1	7.22	4.80	3.06	2.04	1.30	0.784	0.501	0.334	
9	Max. efficiency	%	84	85	86	86	86	86	85	84	82	81	79	77	75	72	
Characteristics																	
10	Terminal resistance	Ω	0.628	1.11	1.71	2.74	3.35	4.32	6.65	10.0	15.7	23.5	36.8	61.3	95.8	144	
11	Terminal inductance	mH	0.0988	0.201	0.300	0.487	0.597	0.760	1.15	1.68	2.62	3.87	5.96	9.70	15.1	21.9	
12	Torque constant	mNm / A	25.5	36.4	44.5	56.6	62.6	70.7	86.9	105	131	160	198	253	315	380	
13	Speed constant	rpm / V	375	263	215	169	152	135	110	90.9	72.7	59.8	48.2	37.8	30.3	25.1	
14	Speed / torque gradient	rpm / mNm	9.23	8.05	8.27	8.18	8.14	8.25	8.41	8.65	8.67	8.80	8.96	9.17	9.21	9.51	
15	Mechanical time constant	ms	6.00	5.89	5.84	5.81	5.81	5.80	5.81	5.81	5.82	5.83	5.84	5.86	5.85	5.88	
16	Rotor inertia	gcm ²	62.0	69.9	67.5	67.8	68.1	67.2	66.0	64.2	64.1	63.3	62.2	61.1	60.7	59.0	

Specifications

Thermal data

17	Thermal resistance housing-ambient	6.4 K / W
18	Thermal resistance winding-housing	3.4 K / W
19	Thermal time constant winding	44.2 s
20	Thermal time constant motor	1120 s
21	Ambient temperature	-30 ... +100°C
22	Max. permissible winding temperature	+125°C

Mechanical data (ball bearings)

23	Max. permissible speed	12000 rpm
24	Axial play	0.05 - 0.15 mm
25	Radial play	0.025 mm
26	Max. axial load (dynamic)	5.6 N
27	Max. force for press fits (static) (static, shaft supported)	5.6 N
28	Max. radial loading, 5 mm from flange	1200 N
		28 N

Other specifications

29	Number of pole pairs	1
30	Number of commutator segments	13
31	Weight of motor	350 g

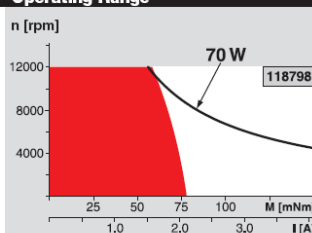
Values listed in the table are nominal.
Explanation of the figures on page 49.

⚠ Tolerances may vary from the standard specification.

Option

Preloaded ball bearings

Operating Range



Comments

Continuous operation

In observation of above listed thermal resistance (lines 17 and 18) the maximum permissible winding temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
= Thermal limit.

Short term operation

The motor may be briefly overloaded (recurring).

— Assigned power rating

maxon Modular System

Planetary Gearhead

Ø32 mm
0.4 - 2.0 Nm
Page 345

Planetary Gearhead

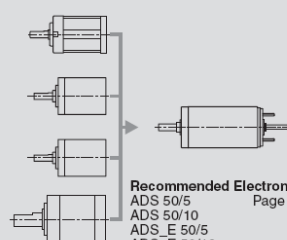
Ø32 mm
0.75 - 4.5 Nm
Page 234

Planetary Gearhead

Ø32 mm
1.0 - 6.0 Nm
Page 235

Planetary Gearhead

Ø42 mm
3 - 15 Nm
Page 240



Recommended Electronics:
 ADS 50/5 Page 282
 ADS 50/10 283
 ADS_E 50/5 283
 ADS_E 50/10 283
 EPOS 24/5 303
 EPOS2 50/5 303
 EPOS P 24/5 306
 Notes 18

Overview on page 16 - 21

Encoder MR

256 - 1024 CPT,
3 channels
Page 265

Encoder HEDS 5540

500 CPT,
3 channels
Page 268

Encoder HEDL 5540

500 CPT,
3 channels
Page 270

DC-Tacho DCT

Ø22 mm
0.52 V
Page 277




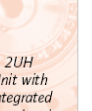

C. Harmonic Drive HFUC-14-100-2UH.

Los datos técnicos facilitados por el fabricante para este mecanismo de transmisión de potencia son los siguientes.

Ejemplo de Elección del pedido

Bestellbezeichnungen

Ordering Code

Baureihe <i>Series</i>		Baugröße <i>Size</i>	Untersetzung ¹⁾ <i>Ratio</i> ¹⁾						Version <i>Version</i>	Sonderausführung <i>Special Design</i>	
HFUC	 <i>HFUC</i>	14	30	50	80	100			 <i>2UH Unit with integrated output bearing</i>	Nach Kunden- anforderung	 <i>According to customer requirements</i>
		17	30	50	80	100	120				
		20	30	50	80	100	120	160			
		25	30	50	80	100	120	160			
		32	30	50	80	100	120	160			
		40		50	80	100	120	160			
		45		50	80	100	120	160			
		50	50 ²⁾	80	100	120	160				
		58	50 ²⁾	80	100	120	160				
		65	50 ²⁾	80	100	120	160				
		80	50 ²⁾	80	100	120	160				
		90	50 ²⁾	80	100	120	160				

HFUC - 25 - 100 - 2UH - SP

Datos técnicos.

Technische Daten

Technical Data

Leistungsdaten

Rating Table

Tabelle / Table 146.1




HFUC- 2UH Baugröße	Untersetzung ⁵⁾	Grenze für wiederhol- bares Spitzendreh- moment	Grenze für Durchschnitts- drehmoment	Nenn Drehmoment bei Nenndrehzahl 2000 min ⁻¹	Grenze für Kollisionsdreh- moment	Max. Antriebs- drehzahl min ⁻¹	Grenze für mittlere Antriebs- drehzahl min ⁻¹	Massen- trägheits- moment ³⁾	Gewicht		
HFUC- 2UH Size	Ratio ⁵⁾	Limit for Repeated Peak Torque	Limit for Average Torque	Rated Torque at Rated Speed 2000 rpm	Limit for Momentary Peak Torque	Max. Input Speed rpm	Limit for Average Input Speed rpm	Moment of Inertia ³⁾	Weight		
	i; R	T _R Nm	T _A Nm	T _N Nm	T _M Nm	Öl ¹⁾ Oil Lub. ¹⁾	Fett ²⁾ Grease Lub. ²⁾	Öl ¹⁾ Oil Lub. ¹⁾	Fett ²⁾ Grease Lub. ²⁾	kgm ²	kg
14	30	9	6,8	4	17	14000 8500	6500 3500	0,033 x 10 ⁻⁴		0,49	
	50	18	6,9	5,4	35						
	80	23	11	7,8	47						
	100	28	11	7,8	54						

Plano.



D. Casquillo Glacier.

Especificaciones técnicas facilitadas por el fabricante, EPIDOR.

F1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS						COJINETES								
CUADRO DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS														
DENOMINACIÓN	POSIBILIDADES DE FABRICACIÓN	TEMP. °C mín. máx.	VELOCIDAD (m/s)	CARGA N/mm²		FACTOR PV N/mm² · m/s	COEF. FRICCIÓN	CONDICIONES OPERATIVAS					Nº PÁG	
				ESTÁTICA	DINÁMICA			SECO	ACEITE	GRASA	AGUA	FLUIDOS		
COJINETES PARA TRABAJAR SIN LUBRICACIÓN														
	DU™	Cojinetes cilíndricos Cojinetes con valona Arandelas Bandas	-200 a +280	2,5	250	140	1,8	0,02 a 0,25	MB	B	NI	NI	NI	415
	DU™-B	Cojinetes cilíndricos Cojinetes con valona Bandas	-200 a +280	2,5	140	140	1,8	0,02 a 0,25	MB	B	NI	B	NI	421
	DP4™ (1)	Cojinetes cilíndricos Cojinetes con valona Arandelas Bandas	-200 a +280	5	250	140	10	0,002	B	MB	B	NI	NI	424

MB: Excelente rendimiento

B: Buen rendimiento

NI: No recomendado

(1) Los valores de velocidad, factor PV y coeficiente de fricción corresponden a lubricación con aceite

(2) Los valores de velocidad, factor PV y coeficiente de fricción corresponden a lubricación con grasa

COJINETES PARA TRABAJAR SIN LUBRICACIÓN

DU™

F1

DU™



CARACTERÍSTICAS

Idóneo para trabajo en seco, libre de mantenimiento. También admite lubricación con aceite. No se recomienda lubricar con grasa.

MICROSECCIÓN



PTFE + Pb

Bronce sinterizado

Dorso de acero

Propiedades		
Trabajo en seco		
Velocidad máx. deslizamiento	m/s	2,5
Factor PV máximo	N/mm² · m/s	1,8
Coefficiente de fricción	-	0,02 a 0,25
General		
Temperatura máxima	°C	280
Temperatura mínima	°C	-200
Carga estática máxima	N/mm²	250
Carga dinámica máxima	N/mm²	140
Rugosidad del eje Ra	µm	0,4
Dureza del eje	HB	>200

Condiciones operativas		
	Seco	Excelente
	Lubricado con aceite	Bueno
	Lubricado con grasa	No recomendado
	Agua	No recomendado
	Otros fluidos	No recomendado

APLICACIONES

Automoción:

Amortiguadores y columnas McPherson, bisagras de puertas y portones, columnas de dirección, embragues, guías de horquillas selectoras de caja de cambios, bombas de dirección, articulaciones de pedales, equipos ABS, etc.

Industria:

equipos de elevación, bombas y motores hidráulicos, equipos neumáticos, equipos médicos, maquinaria textil, maquinaria agrícola, equipos de laboratorio, equipos de oficina, etc.

GAMA DE FABRICACIÓN ESTÁNDAR



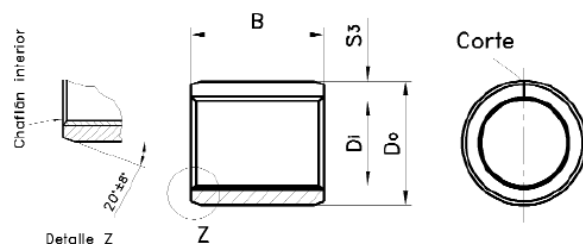








Datos dimensionales sido facilitados por el fabricante, a través de su página web.

F1 DU™
COJINETES PARA TRABAJAR SIN LUBRICACIÓN
COJINETES CILÍNDRICOS DU™
TABLA DIMENSIONES MÉTRICA

TABLA DE TOLERANCIAS PARA LOS EJES Y ALOJAMIENTOS

Ø eje	Tolerancia
2 a 4	h6
5 a 75	f7
80 a 300	h8

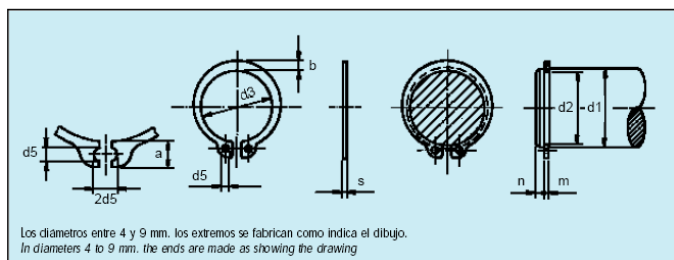
Ø alojamiento	Tolerancia
3 a 6	H6
7 a 305	H7

Referencia	Ø Di	Ø Do	B ±0,25	Código	Referencia	Ø Di	Ø Do	B ±0,25	Código
0203DU	2	3,5	3	604.967	2020DU	20	23	20	541.516
0205DU	2	3,5	5	604.975	2025DU	20	23	25	541.524
0303DU	3	4,5	3	541.102	2030DU	20	23	30	541.532
0305DU	3	4,5	5	541.110	2215DU	22	25	15	541.540
0306DU	3	4,5	6	541.128	2220DU	22	25	20	541.557
0403DU	4	5,5	3	541.136	2225DU	22	25	25	541.565
0404DU	4	5,5	4	541.144	2230DU	22	25	30	541.573
0406DU	4	5,5	6	541.151	2415DU	24	27	15	541.581
0410DU	4	5,5	10	541.169	2420DU	24	27	20	541.599
0505DU	5	7	5	541.177	2425DU	24	27	25	541.607
0508DU	5	7	8	541.185	2430DU	24	27	30	541.615
0510DU	5	7	10	541.193	2515DU	25	28	15	541.623
0604DU	6	8	4	424.299	2520DU	25	28	20	541.631
0606DU	6	8	6	541.201	2525DU	25	28	25	541.649
0608DU	6	8	8	542.555	2530DU	25	28	30	541.656
0610DU	6	8	10	541.219	2550DU	25	28	50	541.664
0710DU	7	9	10	541.227	2815DU	28	32	15	542.662
0806DU	8	10	6	423.263	2820DU	28	32	20	541.672
0808DU	8	10	8	541.235	2825DU	28	32	25	542.670
0810DU	8	10	10	541.243	2830DU	28	32	30	541.680
0812DU	8	10	12	541.250	3010DU	30	34	10	385.422
0820DU	8	10	20	541.266	3015DU	30	34	15	542.688
1010DU	10	12	10	541.276	3020DU	30	34	20	541.698
1012DU	10	12	12	541.284	3025DU	30	34	25	541.706
1015DU	10	12	15	541.292	3030DU	30	34	30	541.714
1020DU	10	12	20	541.300	3040DU	30	34	40	541.722
1208DU	12	14	8	541.318	3220DU	32	36	20	542.696
1210DU	12	14	10	541.326	3230DU	32	36	30	542.704
1212DU	12	14	12	541.334	3240DU	32	36	40	541.730
1215DU	12	14	15	541.342	3520DU	35	39	20	541.748
1220DU	12	14	20	541.359	3530DU	35	39	30	541.755

E. Anillo seeger.

Las características dimensionales del anillo seeger, o anillo de seguridad, usado en el diseño aparecen en la siguiente tabla, suministrada por el fabricante, Sinard.

ANILLO DE SEGURIDAD DIN 471 LOCK RING DIN 471



Código Code	Nominal Ø d1	s	Tolerancia	d3	Tolerancia	≈ b	d5	d2	m	n min.
7.001	4	0,40	0 - 0,05	3,7	+ 0,04 - 0,15	0,9	1,0	3,8	0,50	0,30
7.002	5	0,60		4,7		1,1	1,0	4,8	0,70	0,30
7.003	6	0,70		5,6		1,3	1,2	5,7	0,80	0,45
7.004	7	0,80		6,5	+ 0,06 - 0,18	1,4	1,2	6,7	0,90	0,45
7.005	8	0,80		7,4		1,5	1,2	7,6	1,10	0,60
7.006	9	1,00	0 - 0,06	8,4	+ 0,10 - 0,36	1,7	1,2	8,6	1,10	0,60
7.007	10	1,00		9,3		1,8	1,5	9,6	1,10	0,60
7.008	11	1,00		10,2		1,8	1,5	10,5	1,10	0,75
7.009	12	1,00		11,0		1,8	1,7	11,5	1,10	0,75
7.010	13	1,00		11,9		2,0	1,7	12,4	1,10	0,90
7.011	14	1,00		12,9	+ 0,13 - 0,42	2,1	1,7	13,4	1,10	0,90
7.012	15	1,00		13,8		2,2	1,7	14,3	1,10	1,05
7.013	16	1,00		14,7		2,2	1,7	15,2	1,10	1,20
7.014	17	1,00		15,7		2,3	1,7	16,2	1,10	1,20
7.015	18	1,20		16,5		2,4	1,7	17,0	1,30	1,50
7.016	19	1,20		17,5	+ 0,21 - 0,42	2,5	2,0	18,0	1,30	1,50
7.017	20	1,20		18,5		2,6	2,0	19,0	1,30	1,50
7.019	22	1,20		20,5		2,8	2,0	21,0	1,30	1,50
7.020	24	1,20		22,2		3,0	2,0	22,9	1,30	1,65
7.021	25	1,20		23,2		3,0	2,0	23,9	1,30	1,65
7.022	26	1,20		24,2		3,1	2,0	24,9	1,30	1,65
7.023	28	1,50		25,9		3,2	2,0	26,6	1,60	2,10
7.024	30	1,50		27,9		3,4	2,0	28,6	1,60	2,10



F. Elementos de Unión.

Los tornillos, arandelas y tuercas normalizadas que se han elegido para el diseño del mecanismo se detallan a continuación. Las características han sido suministradas por el fabricante, tornillería Reche S.L.¹⁴

TORNILLOS.

Tornillo cabeza exagonal DIN-933 E



Características

La cabeza presenta unas formas más suaves, con aristas menos pronunciadas.

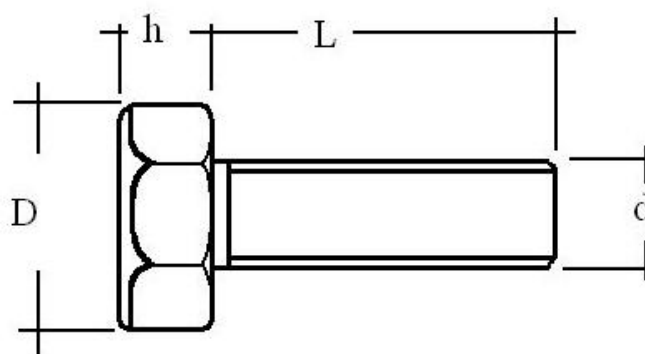
Longitud

Desde 10 hasta 70 milímetros.

Calidad del acero

6.8

Cumple con la normativa Rohs



Medidas - Tornillo cabeza exagonal DIN-933 E

d (diámetro caña)	D (diámetro cabeza)	h (altura cabeza)
M-5	8,00	3,80
M-6	10,00	4,30
M-8	13,00	5,10
M-10	17,00	7,00

¹⁴ Todas las dimensiones expresadas en milímetros.

ARANDELAS.

Arandela plana DIN-125 A



Características

Complementa al tornillo para distribuir sobre más superficie el par de apriete.

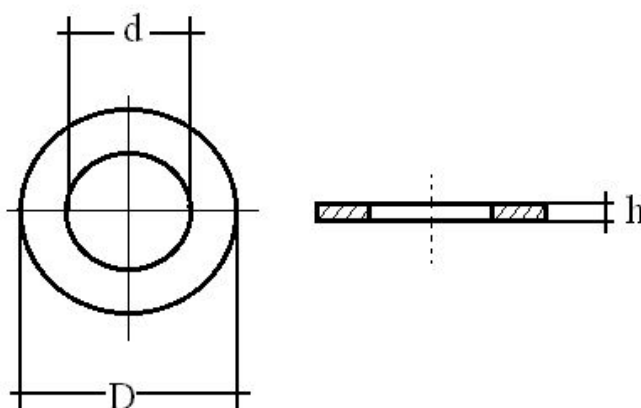
Longitud

—

Calidad del acero

6

Cumple con la normativa Rohs



Medidas - Arandela plana DIN-125 A

d (diámetro caña)	D (diámetro cabeza)	h (altura cabeza)
M-3	7,00	0,50
M-4	9,00	0,80
M-5	10,00	1,00
M-6	12,00	1,60
M-7	14,00	1,60

TUERCAS.

Tuerca hexagonal autoblocante



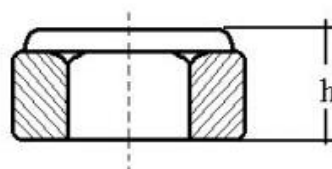
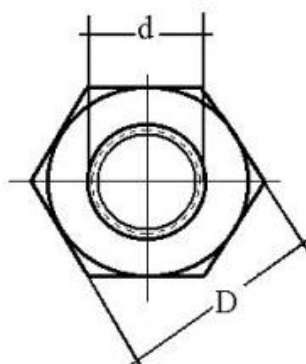
Características

Para la unión de elementos sin rosca propia. Estas tuercas tienen insertado un freno de nailon que hacen que no se muevan ni se aflojen con las vibraciones o movimientos, por lo que resultan muy útiles como topes y retenes en toda clase de ejes. Su resistencia a las vibraciones hacen que sean la mejor opción para fijar motores, ejes, ruedas y en general cualquier pieza que este sujeta a movimientos o vibraciones.

Calidad del acero

6

Cumple con la normativa Rohs



Medidas - Tuerca hexagonal autoblocante

d (diámetro caña)	D (diámetro cabeza)	h (altura cabeza)
M-3	5,5	4
M-4	7	5
M-5	8	5
M-6	10	6
M-7	11	6,7
M-8	13	8
M-10	17	10
M-12	19	12



G. Materiales empleados.

Aluminio 1060.

Características y métodos de soldadura facilitadas por la empresa ALU-STOCK S.A.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS ALEACIONES COMERCIALES DE ALUMINIO DE FORJA



Normas EN AW	Denominaciones ALU-STOCK	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Pb	% Cr	% V	% Otros	% Al
1050 A	Puraltok 99,50	0,25	0,40	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05				0,03	99,50
1060	Puraltok 99,60	0,25	0,35	0,05	0,03	0,03	0,05	0,03				0,03	99,60
1080	Puraltok 99,80	0,15	0,15	0,03	0,02	0,02	0,06	0,03		Ga 0,03	V 0,05	0,02	99,80
1100	Puraltok 99,10	0,95 Si+Fe		0,05-0,20	0,05		0,10					0,05	99,00
1200	Puraltok 99,00	1,0 Si+Fe		0,05	0,05		0,10	0,05				0,15	99,00
1350	Elect-pural 99,5	0,10	0,40	0,05	0,01		0,05				0,05 B, 0,02 V+Ti	0,03	99,50
2007	Cobrealtok 07	0,80	0,80	3,30-4,60	0,50-1,00	0,40-1,80	0,80	0,20	0,80-1,50		Bi 0,20	0,30	Resto
2011	Cobrealtok 11	0,40	0,70	5,00-6,00			0,30		0,20-0,60	0,01	Bi 0,20-0,60	0,15	"
2014	Cobrealtok 14	0,50-1,20	0,70	3,90-5,00	0,40-1,20	0,20-0,80	0,25	0,15		0,10		0,15	"
2018	Cobrealtok 19	0,50-0,90	0,50	3,90-5,00	0,40-1,20	0,40-0,80	0,25	0,15		Bi 0,2-0,6	0,20 Zr + Ti	0,15	"
2017 A	Cobrealtok 17	0,20-0,80	0,70	3,50-4,50	0,40-1,00	0,40-1,00	0,25	0,15		0,10	0,25 Zr + Ti	0,15	"
2024	Cobrealtok 24	0,50	0,50	3,80-4,90	0,30-0,90	1,20-1,80	0,25	0,15		0,10	0,25 Zr + Ti	0,15	"
2618 A	Cobrealtok 18	0,15-0,25	0,90-1,40	1,80-2,70	0,25	0,40-0,80	0,15	0,20	Ni (0,8-1,4)	0,10	0,25 Zr + Ti	0,15	"
2030	Cobrealtok 30	0,80	0,70	3,30-4,50	0,20-1,00	0,50-1,30	0,50	0,20	0,80-1,50	0,10	Bi 0,20	0,15	"
3003	Almantok 3003	0,60	0,70	0,05-0,20	1,00-1,50		0,10	+Zr 0,20		0,10		0,15	"
3004	Almantok 3004	0,30	0,70	0,25	1,00-1,50	0,80-1,30	0,25					0,15	"
3104	Almantok 3104	0,60	0,80	0,05-0,25	0,8-1,4	0,80-1,30	0,25	0,10			0,05	0,15	"
3005	Almantok 3005	0,60	0,70	0,30	1,0-1,5	0,2-0,5	0,25	0,10		0,10	0,05 V	0,15	"
3105	Almantok 3105	0,60	0,70	0,30	0,30-0,80	0,20-0,80	0,40	0,10		0,20		0,15	"

1-. SOLDADURA AL ARCO BAJO ATMÓSFERA INERTE CON ELECTRODO REFRACTARIO O PROCEDIMIENTO TIG (Tungsténe Inert Gas).

En este procedimiento se hace saltar un arco eléctrico entre un electrodo refractario de tungsteno y la pieza a soldar, mientras que un chorro de gas inerte, generalmente argón, rodeando el electrodo, protege el baño de fusión contra la oxidación. Una varilla de aportación sujeta con la mano alimenta el baño de fusión. Este procedimiento utiliza una fuente alimentada por corriente alterna estabilizada por HF específicamente concebida para la soldadura de las aleaciones de aluminio. Se utiliza en espesores comprendidos entre 1 y 6 mm y se puede robotizar.

2-. LA SOLDADURA AL ARCO BAJO ATMÓSFERA INERTE CON ELECTRODO CONSUMIBLE O PROCEDIMIENTO MIG (Metal Inert Gas).

En este procedimiento de soldadura, el aluminio o la aleación de aluminio sirve a la vez de electrodo y de metal de aportación. Se suministra en hilo previamente enrollado en una bobina, el cual se desenrolla automáticamente hasta la herramienta de soldadura, pistola, a medida que se consume. La energía para la soldadura se suministra por una fuente de corriente continua. La conexión se efectúa con polaridad inversa (-) en la pieza para asegurar a la vez el decapado y la fusión del hilo del electrodo. Este procedimiento, utilizable para los productos con espesor superior a 2,5 mm., es igualmente automatizable. La versión manual de MIG se llama comúnmente soldadura semi-automática.

Desde hace algunos años, los constructores de material de soldadura proponen fuentes de corriente pulsante. Este equipo permite soldar espesores delgados de 1,5 a 4 mm. con mucha facilidad. Para los espesores medios y gruesos, su ventaja con relación a las fuentes clásicas no está demostrada.

■ MATERIALES DE APORTACIÓN

En la soldadura MIG se utilizan siempre materiales de aportación, mientras que en la soldadura TIG se puede o no utilizar. Las mejores propiedades de la junta soldada en lo que se refiere a la resistencia, corrosión y ausencia de fisuras, se obtiene cuando se usan materiales de aportación de acuerdo con la tabla que en otras páginas detallamos.

No existe una norma general para la elección de los materiales de aportación debido al tipo de utilización y al parámetro que interese más en cada caso. Las de alto contenido en magnesio AlMg5 (EN AW 5356-5556) dan mayor resistencia, mientras que la de AlSi5 (EN AW 4043) es más resistente a la fisuración y proporciona mejor flujo de metal durante el proceso de fusión de las aleaciones templables. Este tipo de aleaciones (AlCu - AlMgSi - AlZn), no se deben soldar con material de aportación del mismo grupo de aleación por el proceso de fisuración. En el caso de que el material se vaya a anodizar posteriormente a la soldadura, se evitará el material de aportación AlSi5 porque cogerá en la zona de soldadura un color muy oscuro. Con el fin de reducir el peligro de la corrosión bajo tensión y aumentar la resistencia, se ha añadido Cu a las aleaciones de AlZnMg. Al hacer esto también empeora la soldabilidad. Diversas investigaciones señalan que se puede añadir como máximo 0,2% de Cu, antes de que el peligro de fisuración en caliente aumente considerablemente. Se elige en este caso el AlSi5 (EN AW 4043).

Latón.

La empresa que ha facilitado las características de este material es el Grupo LBO.

Latón es un término aplicado a todas las aleaciones cuya base es el Cobre y con altos porcentajes de Zinc. Para lograr determinadas propiedades en algunos casos se requieren pequeños porcentajes de estaño, plomo, aluminio, etc. Las aleaciones de Latón se clasifican en varios grupos, sirviendo de base el contenido de cobre para poderlas diferenciar. El Latón puede ser rechazado, troquelado, torneado, taladrado, soldado, estirado y pulido.

Forma	Especificación	Aleación
Alambres	260 ASTM B-36	Cobre 70%, Zinc 30%
Barras	360 ASTM B-16	Cobre 61.5%, Zinc 35.4%, Plomo 3.1%
Lainas	270 ASTM B-36	Cobre 70%, Zinc 30%
Laminas	270 ASTM B-36	Cobre 70%, Zinc 30%
Soleras	360 ASTM B-16	Cobre 61.5%, Zinc 35.4%, Plomo 3.1%
Telas	260 ASTM B-36	Cobre 70%, Zinc 30%
Terrazos	360 ASTM B-16	Cobre 61.5%, Zinc 35.4%, Plomo 3.1%
Tubos	274 ASTM B-36	Cobre 62%, Zinc 38%

Tramos de 3.66 mts.

MEDIDAS		PESO APROXIMADO POR METRO LINEAL EN KGS.		
MMS.	PULGS.	REDONDO	CUADRADO	HEXAGONAL
2.4	3/32	0.038	-	-
2.6	0.105	0.045	-	-
3.2	1/8	0.067	0.086	0.074
4.0	5/32	0.105	0.134	0.116
4.8	3/16	0.151	0.193	0.167
5.5	7/32	0.206	-	-
6.0	0.236	0.240	-	-
6.4	1/4	0.269	0.343	0.297
7.1	9/32	0.340	-	-
7.9	5/16	0.420	0.535	0.464
9.5	3/8	0.605	0.771	0.668
10.3	1 3/32	0.710	-	-

Bronce.

Al igual que en el caso del latón, la empresa que facilita los datos y características del Bronce es Grupo LBO.

Correspondencia con Normas Internacionales	Denominación	Usos
C.D.A. 937 S.A.E. 64 A.S.T.M. B-145(3A)	0-1	Sus principales usos son en bujes y chumaceras, que trabajan a altas velocidades y grandes presiones.
C.D.A. 844 A.S.T.M. B-145(5A)	0-2	Bronce para uso general: Chumaceras, partes de bombas, agricultura, conexiones, etc.
C.D.A. 932 S.A.E. 660 A.S.T.M. B-144(3B)	0-3	Se usan principalmente en bujes y chumaceras que trabajan a velocidades y presiones medias
C.D.A. 905 S.A.E. 62 A.S.T.M. B-143(1A)	0-4	Bronce al estaño, de gran resistencia al desgaste. Especialmente indicado para usarse en engranes, coronas y elementos de máquinas.

Colada Continua								
Composición Química (en %)								
Aleación Elementos	0-1		0-2		0-3		0-4	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Cobre	78	82	79	82	81	85	86	89
Estaño	9	11	2	4	6	8	9	11
Plomo	9	11	6	8	6	8	-	0.30
Zinc	-	0.75	7	10	2	4	1	3
Niquel	-	0.75	-	1.0	-	0.5	-	1
Fósforo	-	-	-	1.0	-	1.5	-	-

Bronce 0-4	
Resistencia a la tensión	4000 Kg/cm ²
Alargamiento en 5.08 cm	20%
Dureza Brinell	75-85





H. Planos.

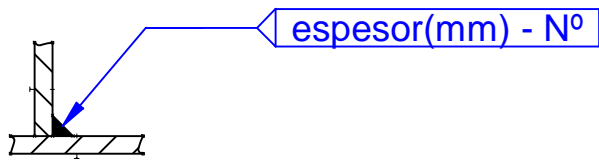
La totalidad de los planos necesarios para la fabricación del robot bípedo se muestran a continuación.

El protocolo al que hacen referencia todos los planos que requieren soldadura se encuentra al principio de los planos. Dicho protocolo está basado en el utilizado por la empresa LANGA INDUSTRIAL en todos sus planos.

Nº	Designación de las soldaduras	Croquis	Definición	Valores
1	Soldadura a tope		s: Mínima distancia desde la superficie de la pieza al fondo de la penetración, no podrá ser superior que el espesor de la pieza más delgada.	
2	Soldadura en ángulo continua		a: altura del mayor triángulo isósceles que pueda inscribirse en la sección. z: lado del mayor triángulo isósceles que pueda inscribirse en la sección.	Espesor máximo del cordón de soldadura no será mayor del 0.7 del espesor mínimo a unir
3	Soldadura en ángulo intermitente		l: longitud de la soldadura (sin cráteres de final de cordón)	min: 5 mm máx.: 10 mm
			(e): distancia entre tramos de soldaduras adyacentes.	min: 8 mm máx.: 20 mm
			d: distancia borde a inicio soldadura	máx.: 10 mm
4	Soldadura en ángulo intermitente alternada		l: } (e): } (véase N° 3) d: }	
5	Soldadura "punteada"		ø: diámetro del punto	min: 3 mm máx.: 8 mm
			(e): espaciado	min: 30 mm máx.: 50 mm

Nota.- En espesores a unir inferiores a 2 mm se admitirá N° 5

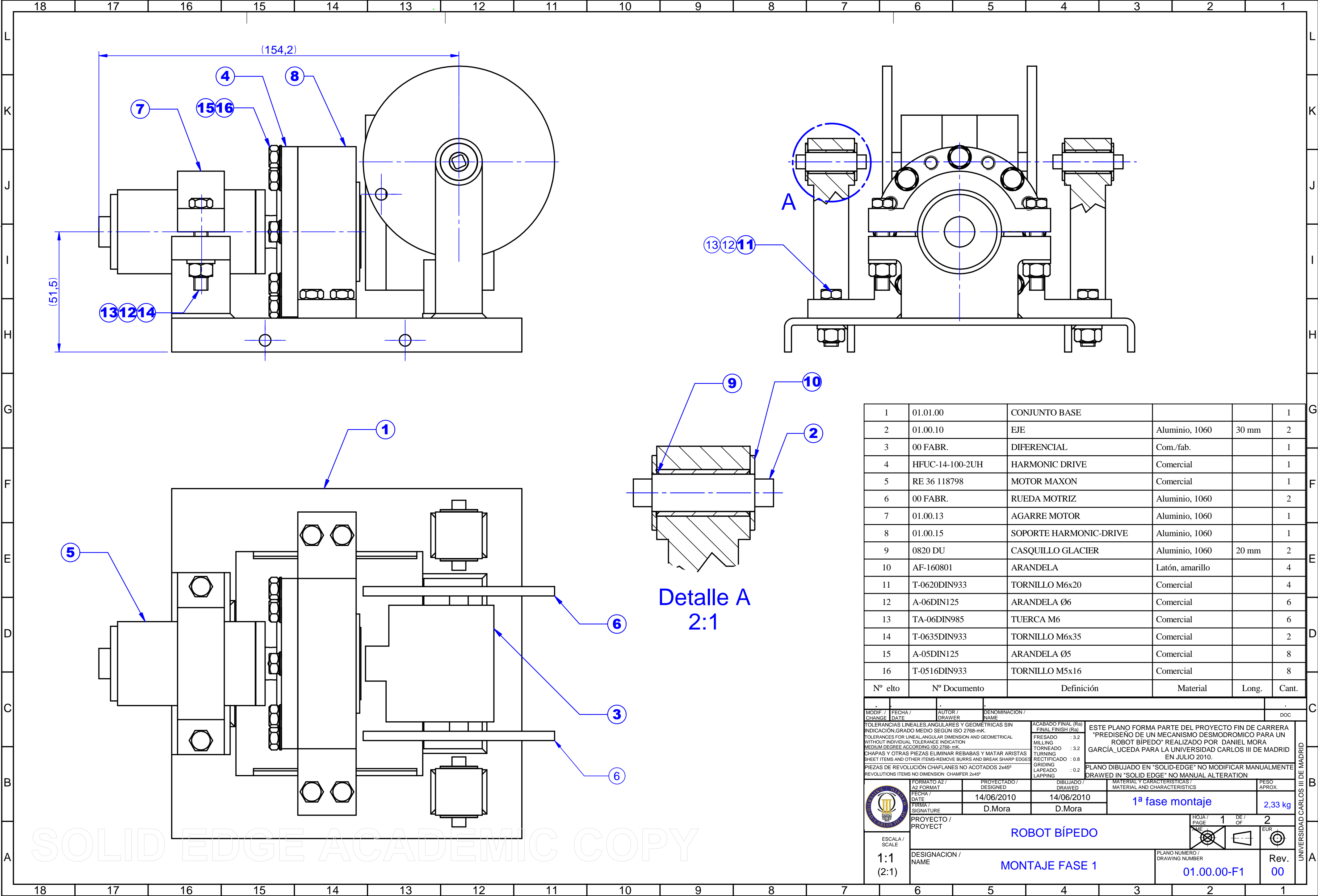
Indicaciones en los planos:



Preparación soldadura según UNE 14 036
Welded preparation see UNE 14 036

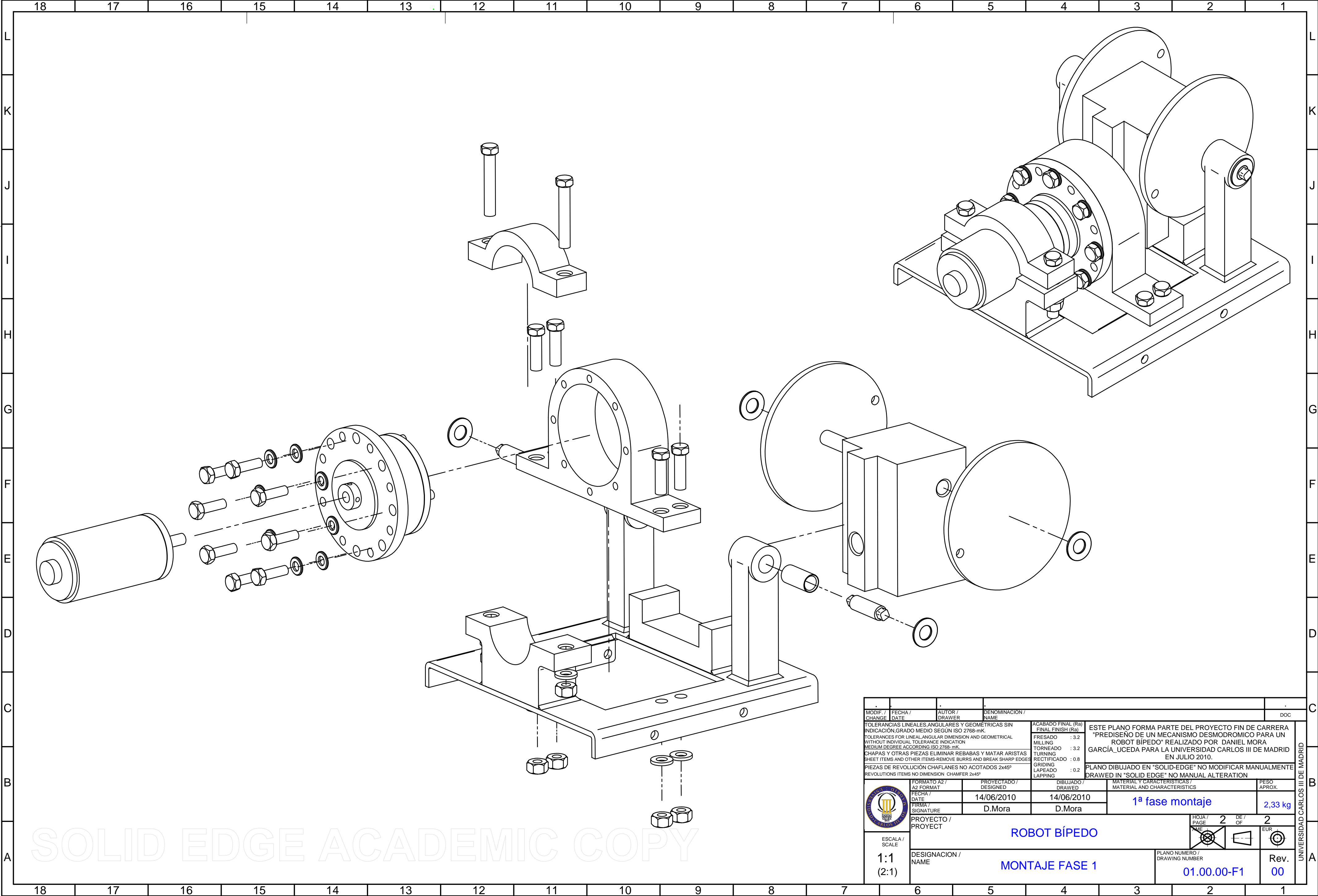
Todas las soldaduras al 100% cordón mínimo e: 5mm
excepto indicadas según PROC-L.EN.04.06 (4.10.6.A)
All welding cordons continuous minimum thickness 5mm
except for indicated ones according PROC-L.EN.04.06 (4.10.6.A)

MODIF. / CHANGE		FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME	DOC
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMETRICAS SIN INDICACION GRADO MEDIO SEGUN ISO 2768-mK TOLERANCES FOR LINEAL ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768-mK CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBARBAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES PIEZAS DE REVOLUCION CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°		ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra) FRESADO : 3.2 MILLING : 3.2 TORNEADO : 3.2 TURNING : 3.2 RECTIFICADO : 0.8 GRINDING : 0.8 LAPEADO : 0.2 LAPPING : 0.2		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010. PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWED IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION	
FORMATO A2 / A2 FORMAT		PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	
FECHA / DATE		14/06/2010	14/06/2010	PESO APROX.	
FIRMA / SIGNATURE		D.Mora	D.Mora		
PROYECTO / PROJECT		PROTOCOLOS		HOJA / PAGE 1 DE / OF 1	
ESCALA / SCALE		DESIGNACION / NAME		PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER	
-		PROTOCOLO SOLDADURA		PROC-L.EN.04.06 (4.10.6.A)	



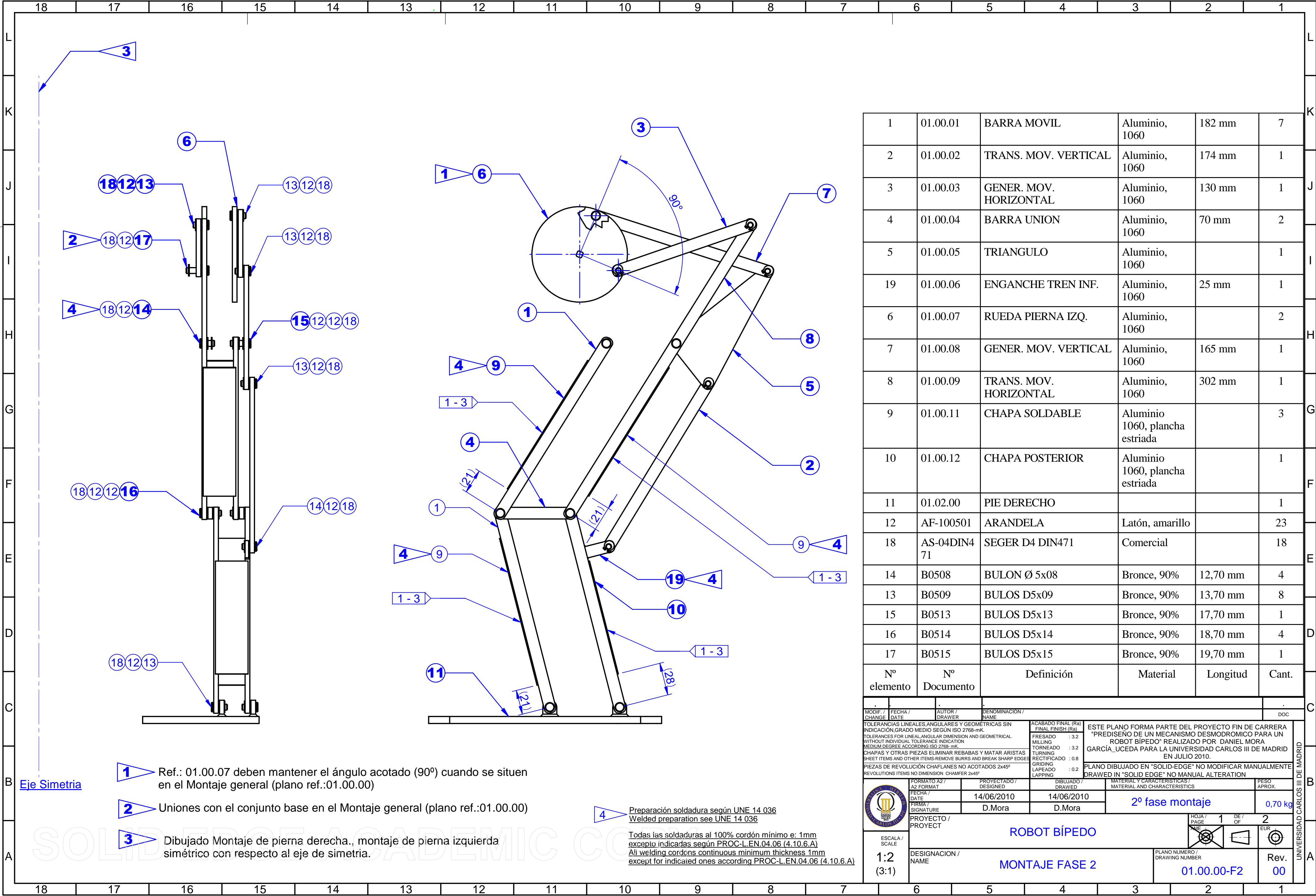
1	01.01.00	CONJUNTO BASE			1
2	01.00.10	EJE	Aluminio, 1060	30 mm	2
3	00 FABR.	DIFERENCIAL	Com./fab.		1
4	HFUC-14-100-2UH	HARMONIC DRIVE	Comercial		1
5	RE 36 118798	MOTOR MAXON	Comercial		1
6	00 FABR.	RUEDA MOTRIZ	Aluminio, 1060		2
7	01.00.13	AGARRE MOTOR	Aluminio, 1060		1
8	01.00.15	SOPORTE HARMONIC-DRIVE	Aluminio, 1060		1
9	0820 DU	CASQUILLO GLACIER	Aluminio, 1060	20 mm	2
10	AF-160801	ARANDELA	Latón, amarillo		4
11	T-0620DIN933	TORNILLO M6x20	Comercial		4
12	A-06DIN125	ARANDELA Ø6	Comercial		6
13	TA-06DIN985	TUERCA M6	Comercial		6
14	T-0635DIN933	TORNILLO M6x35	Comercial		2
15	A-05DIN125	ARANDELA Ø5	Comercial		8
16	T-0516DIN933	TORNILLO M5x16	Comercial		8
Nº elto	Nº Documento	Definición	Material	Long.	Cant.

MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACIÓN / NAME	DOC
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMETRICAS SIN INDICACION GRADO MEDIO SEGUN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768-mK. CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBARBAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°		ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra) FRESADO : 3.2 MILLING : 3.2 TORNEADO : 3.2 TURNING : 3.2 RECTIFICADO : 0.8 GRINDING : 0.8 LAPEADO : 0.2 LAPPING : 0.2	ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010. PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID-EDGE" NO MANUAL ALTERATION	
FORMATO A2 / A2 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWN	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX. / WEIGHT APPROX.
FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	1ª fase montaje	2,33 kg
FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora		
PROYECTO / PROJECT	ROBOT BÍPEDO			
ESCALA / SCALE	1:1 (2:1)			
DESIGNACIÓN / NAME		MONTAJE FASE 1		
PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		01.00.00-F1		
		Rev. 00		



MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME	DOC
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMETRICAS SIN INDICACION. GRADO MEDIO SEGUN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION. MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768-mK. CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBARBAS Y MATAR ARISTAS. SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES. PIEZAS DE REVOLUCION CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°		ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)	ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010. PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWED IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION	
FORMATO A2 / A2 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	
FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	1ª fase montaje	
FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora	2,33 kg	
PROYECTO / PROJECT		ROBOT BÍPEDO		HOJA / PAGE
ESCALA / SCALE		DESIGNACION / NAME		2
1:1 (2:1)		MONTAJE FASE 1		DE / OF
		PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		2
		01.00.00-F1		EUR
		Rev. 00		

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



Eje Simetria

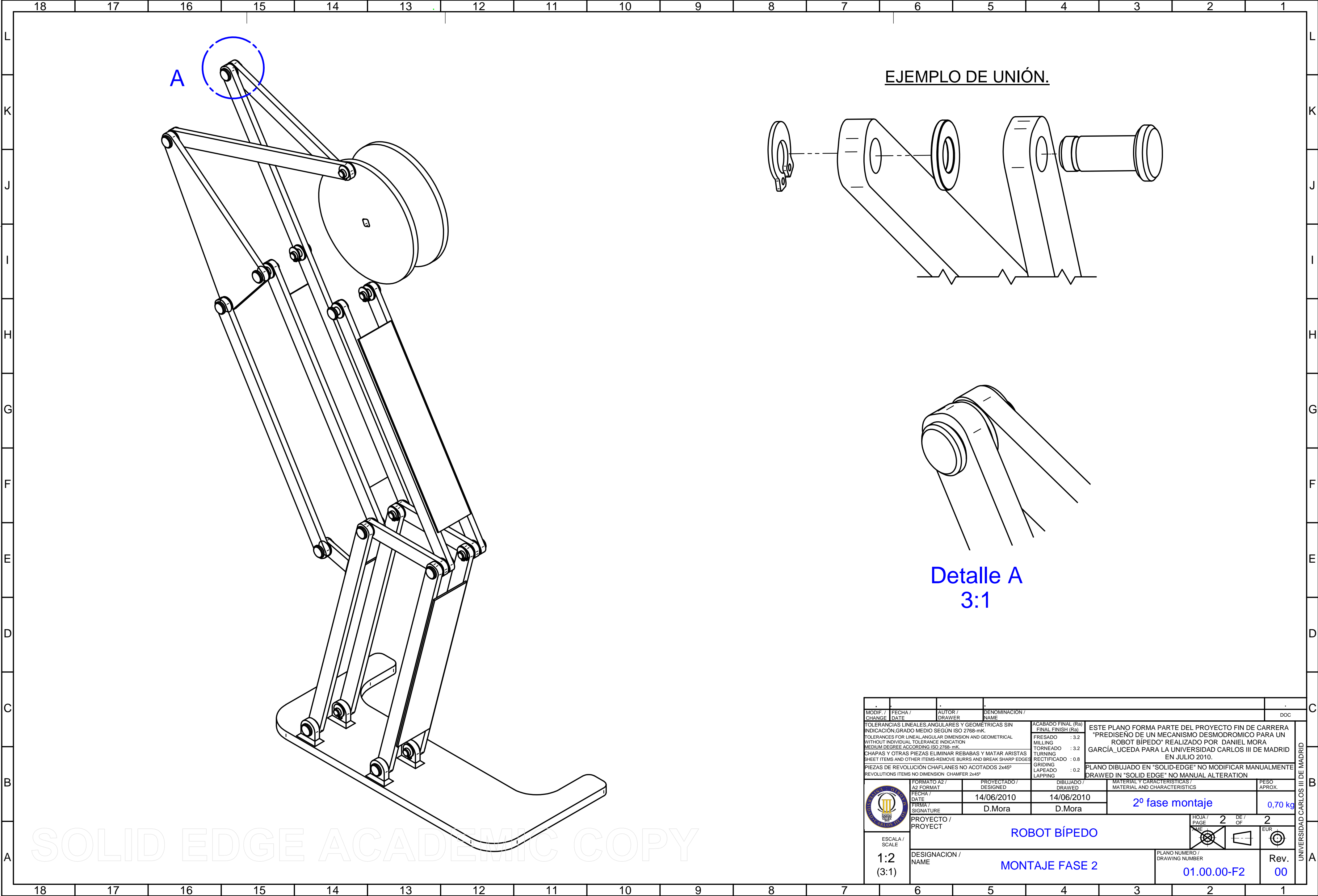
- 1 Ref.: 01.00.07 deben mantener el ángulo acotado (90°) cuando se situen en el Montaje general (plano ref.:01.00.00)
- 2 Uniones con el conjunto base en el Montaje general (plano ref.:01.00.00)
- 3 Dibujado Montaje de pierna derecha., montaje de pierna izquierda simétrico con respecto al eje de simetria.

4 Preparación soldadura según UNE 14 036
Welded preparation see UNE 14 036

Todas las soldaduras al 100% cordón mínimo e: 1mm
excepto indicadas según PROC-L.EN.04.06 (4.10.6.A)
All welding cordons continuous minimum thickness 1mm
except for indicated ones according PROC-L.EN.04.06 (4.10.6.A)

1	01.00.01	BARRA MOVIL	Aluminio, 1060	182 mm	7
2	01.00.02	TRANS. MOV. VERTICAL	Aluminio, 1060	174 mm	1
3	01.00.03	GENER. MOV. HORIZONTAL	Aluminio, 1060	130 mm	1
4	01.00.04	BARRA UNION	Aluminio, 1060	70 mm	2
5	01.00.05	TRIANGULO	Aluminio, 1060		1
19	01.00.06	ENGANCHE TREN INF.	Aluminio, 1060	25 mm	1
6	01.00.07	RUEDA PIERNA IZQ.	Aluminio, 1060		2
7	01.00.08	GENER. MOV. VERTICAL	Aluminio, 1060	165 mm	1
8	01.00.09	TRANS. MOV. HORIZONTAL	Aluminio, 1060	302 mm	1
9	01.00.11	CHAPA SOLDABLE	Aluminio 1060, plancha estriada		3
10	01.00.12	CHAPA POSTERIOR	Aluminio 1060, plancha estriada		1
11	01.02.00	PIE DERECHO			1
12	AF-100501	ARANDELA	Latón, amarillo		23
18	AS-04DIN4 71	SEGER D4 DIN471	Comercial		18
14	B0508	BULON Ø 5x08	Bronce, 90%	12,70 mm	4
13	B0509	BULOS D5x09	Bronce, 90%	13,70 mm	8
15	B0513	BULOS D5x13	Bronce, 90%	17,70 mm	1
16	B0514	BULOS D5x14	Bronce, 90%	18,70 mm	4
17	B0515	BULOS D5x15	Bronce, 90%	19,70 mm	1
Nº elemento	Nº Documento	Definición	Material	Longitud	Cant.

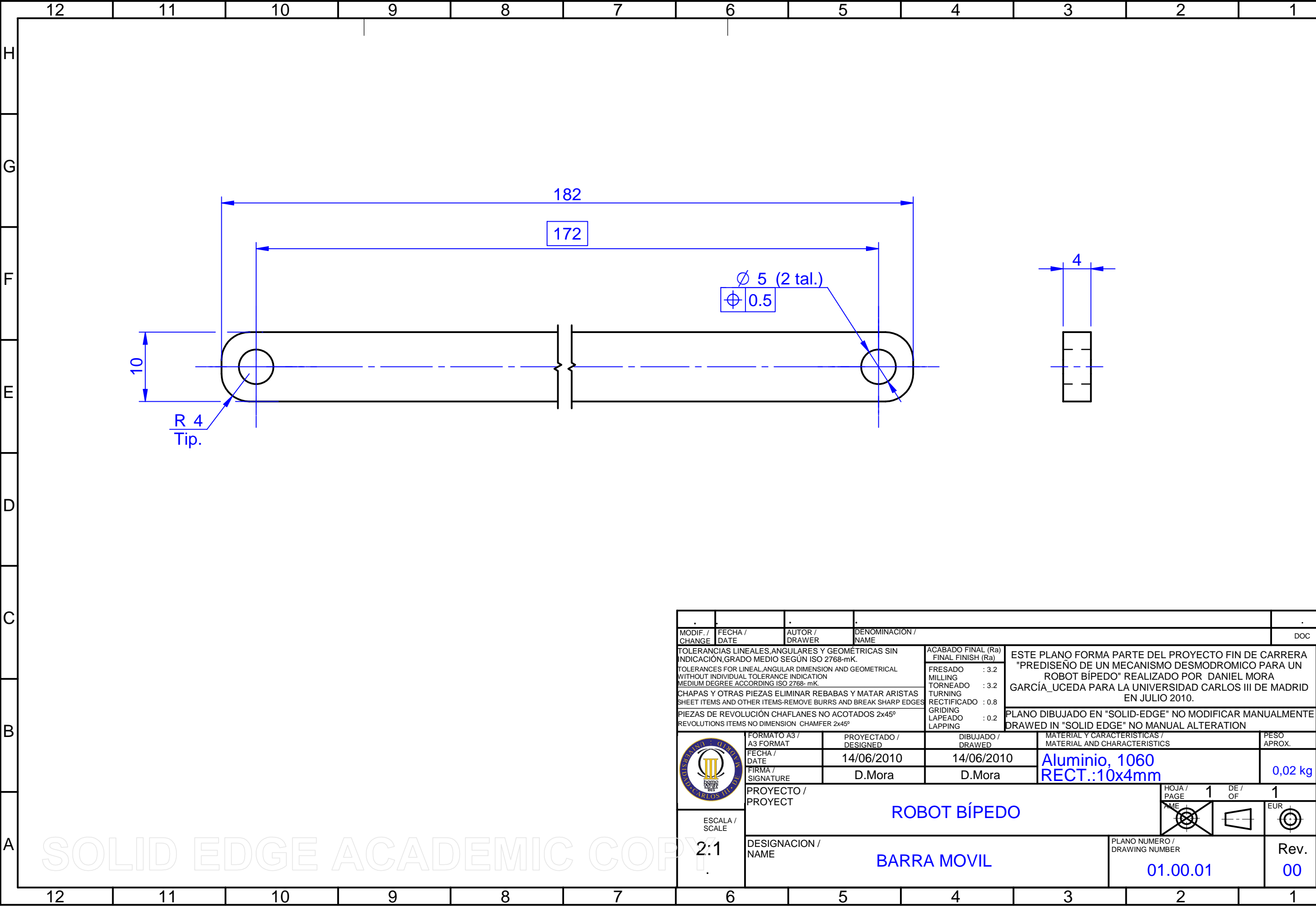
MODIF. / FECHA / CHANGE / DATE		AUTOR / DRAWER		DENOMINACION / NAME		DOC	
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMETRICAS SIN INDICACION GRADO MEDIO SEGUN ISO 2768-mK		ACABADO FINAL (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWED IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION	
TOLERANCES FOR LINEAL ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION		FRESADO : 3.2					
MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768-mK		TORNEADO : 3.2					
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBASAS Y MATAR ARISTAS		RECTIFICADO : 0.8					
SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES		GRINDING : 0.2					
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45°		LAPEADO : 0.2					
REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°		LAPPING					
FORMATO A2 / A2 FORMAT		PROYECTADO / DESIGNED		DIBUJADO / DRAWED		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	
FECHA / DATE		14/06/2010		14/06/2010		2º fase montaje	
FIRMA / SIGNATURE		D.Mora		D.Mora		0,70 kg	
PROYECTO / PROJECT		ROBOT BÍPEDO				HOJA / PAGE 1 DE / OF 2	
ESCALA / SCALE 1:2 (3:1)		DESIGNACION / NAME MONTAJE FASE 2				PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER 01.00.00-F2	
						Rev. 00	



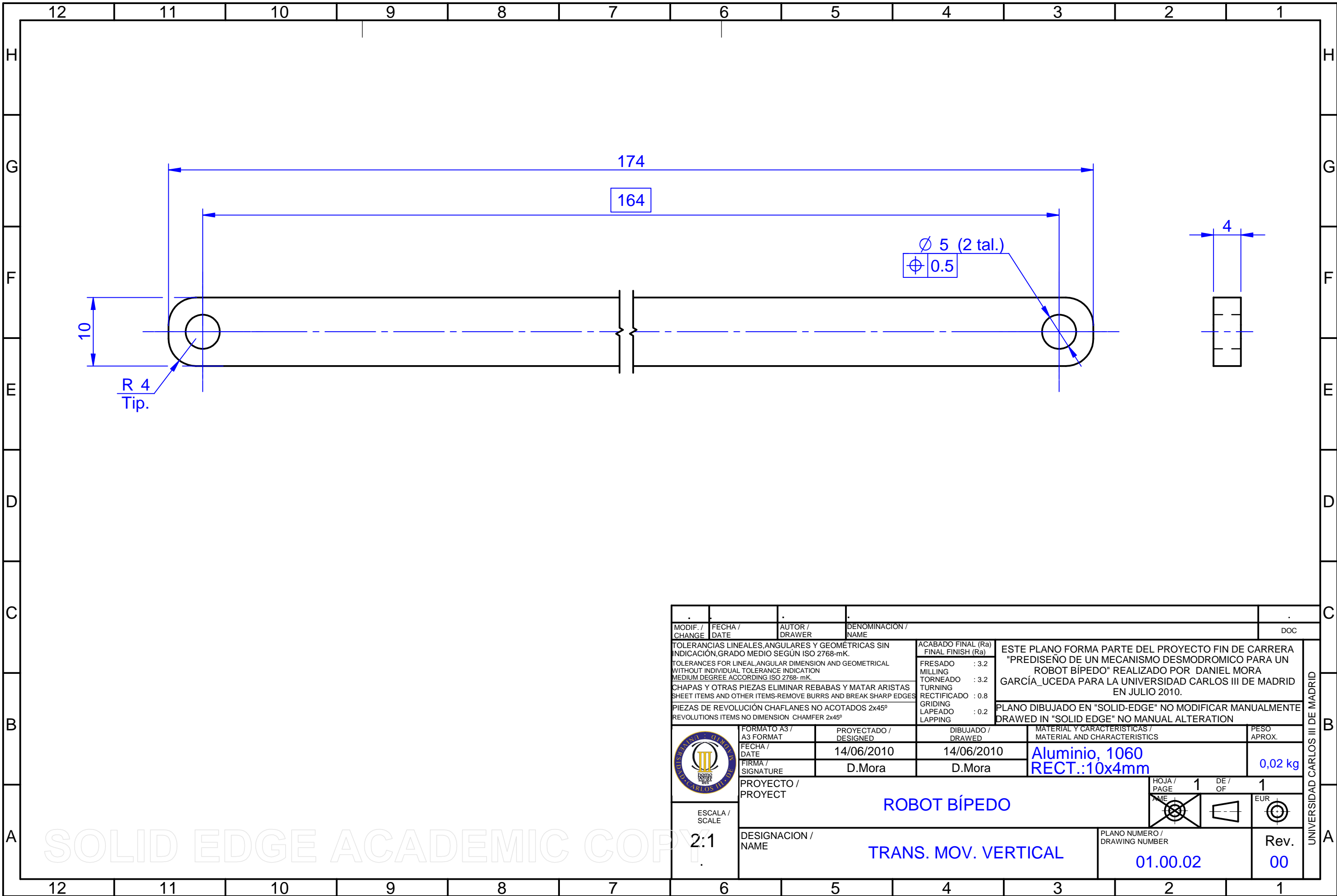
EJEMPLO DE UNIÓN.

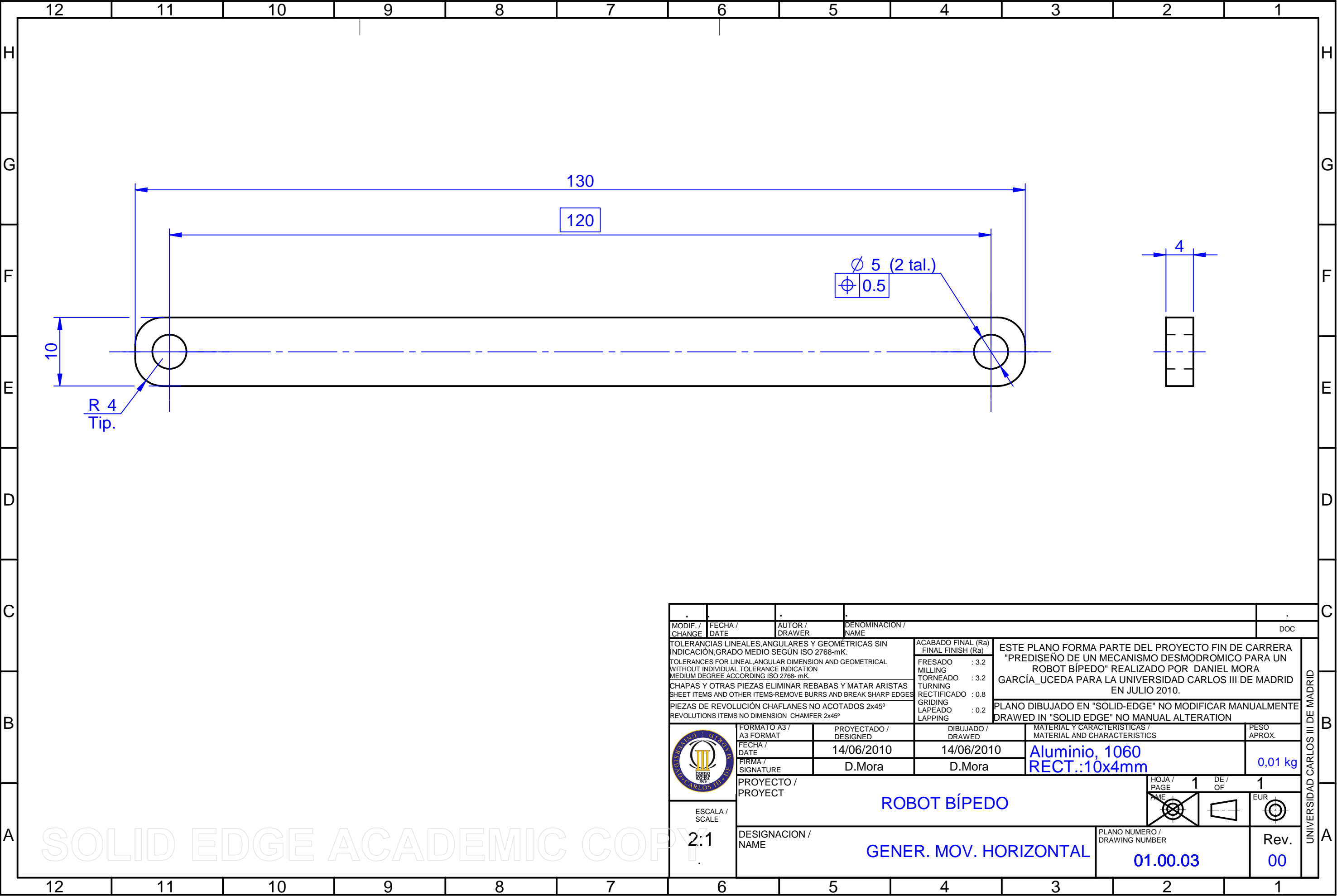
Detalle A
3:1



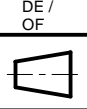

MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME	DOC
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMETRICAS SIN INDICACION GRADO MEDIO SEGUN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768-mK. CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBARBAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°		ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra) FRESADO : 3.2 MILLING : 3.2 TORNEADO : 0.8 TURNING : 0.8 RECTIFICADO : 0.2 GRINDING : 0.2 LAPEADO : 0.2 LAPPING	ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010. PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWED IN "SOLID-EDGE" NO MANUAL ALTERATION	
FORMATO A2 / A2 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX. / WEIGHT APPROX.
FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	2º fase montaje	0,70 kg
FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora		
PROYECTO / PROJECT	ROBOT BÍPEDO			HOJA / PAGE 2 DE / OF 2
ESCALA / SCALE	MONTAJE FASE 2			EUR
1:2 (3:1)	DESIGNACION / NAME			PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER
				01.00.00-F2
				Rev. 00

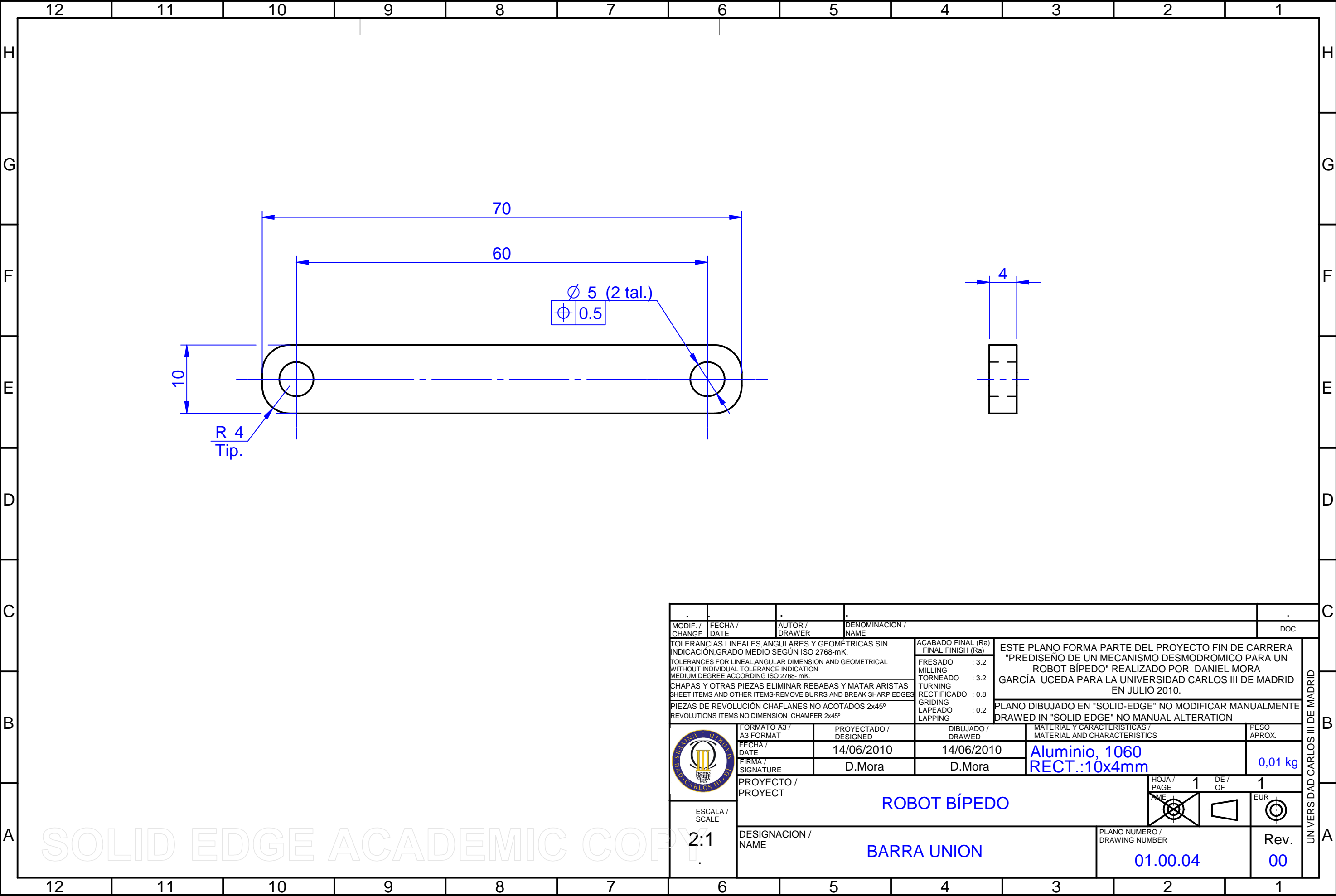




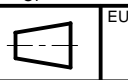
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACIÓN / NAME	DOC
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK. CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra) FRESADO : 3.2 MILLING : 3.2 TORNEADO : 3.2 TURNING : 3.2 RECTIFICADO : 0.8 GRINDING : 0.8 LAPEADO : 0.2 LAPPING : 0.2	ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010. PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	Aluminio, 1060 RECT.:10x4mm
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora	PESO APROX. 0,02 kg
PROYECTO / PROYECT				HOJA / PAGE
ROBOT BÍPEDO				1
DESIGNACION / NAME				DE / OF
BARRA MOVIL				1
ESCALA / SCALE				EUR
2:1				Rev.
PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER				00
01.00.01				



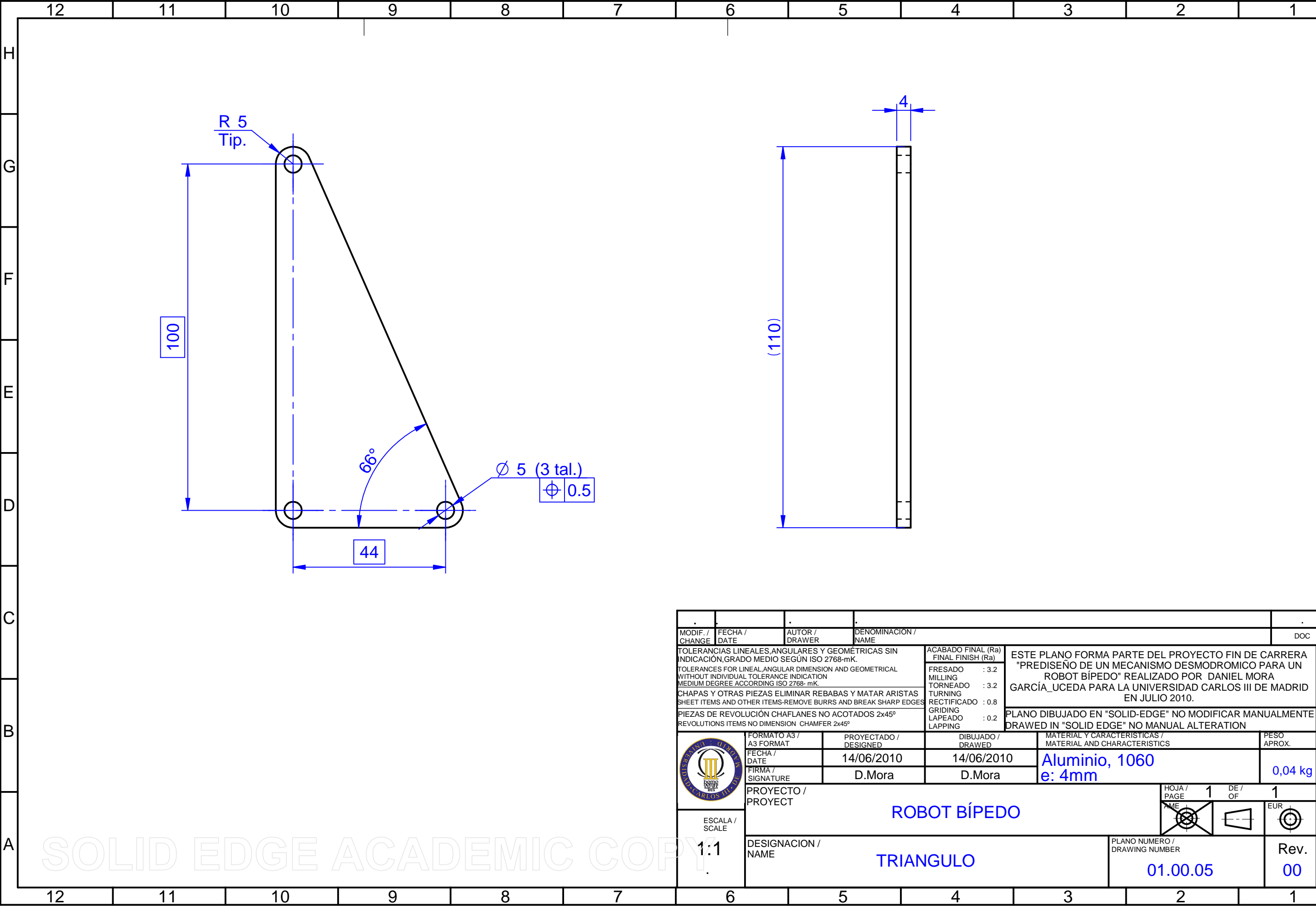


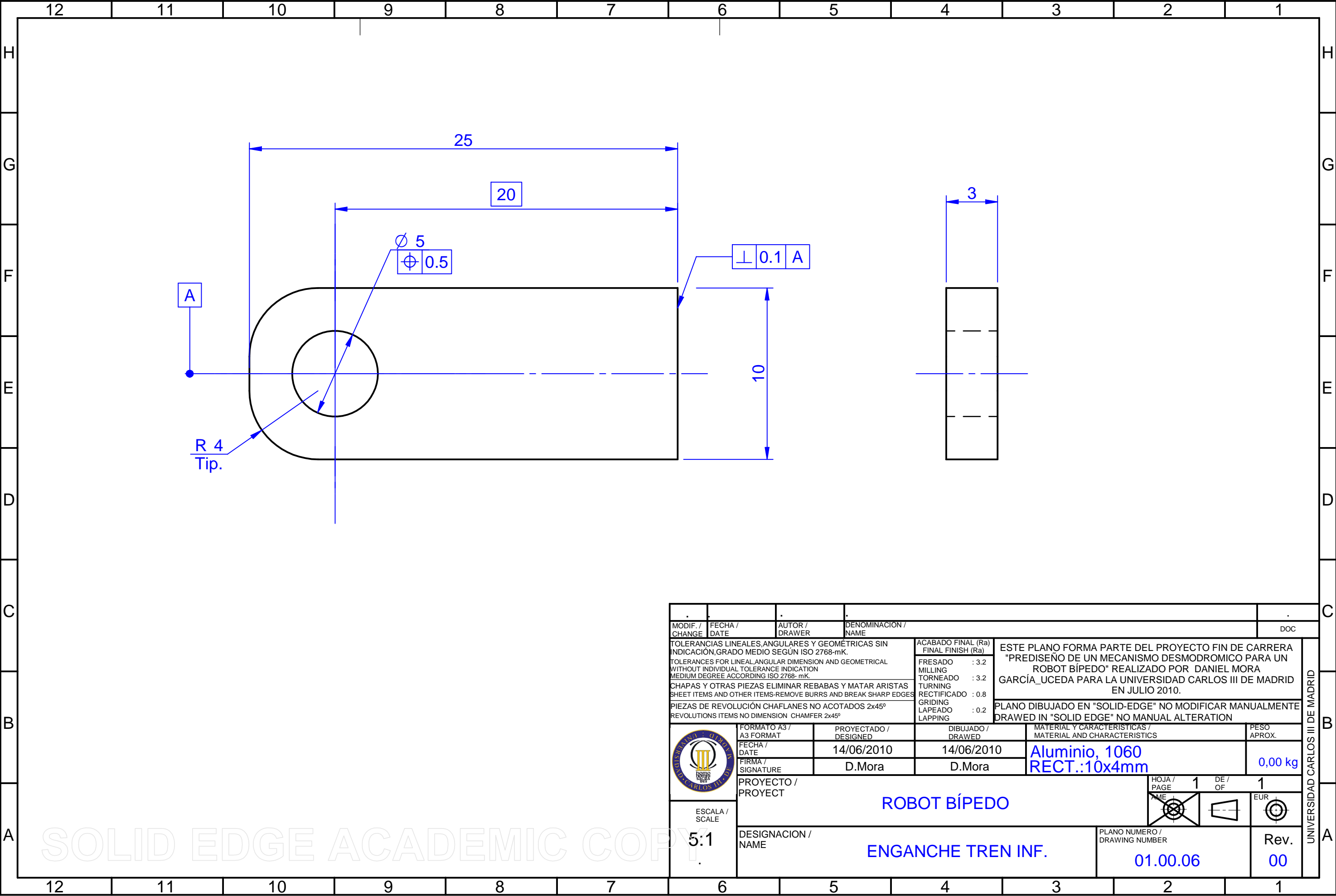
.		.		.				
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME		DOC			
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACION. GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.			
TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			FRESADO : 3.2 MILLING					
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			TORNEADO : 3.2 TURNING					
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING					
			LAPEADO : 0.2 LAPPING		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION			
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX.		
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010		Aluminio, 1060 RECT.:10x4mm	0,01 kg		
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora					
	PROYECTO / PROJECT					HOJA / PAGE	1 DE / OF	
ESCALA / SCALE	ROBOT BÍPEDO							
	2:1							
	DESIGNACION / NAME					PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		Rev.
GENER. MOV. HORIZONTAL					01.00.03		00	


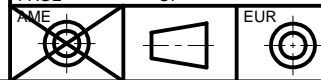


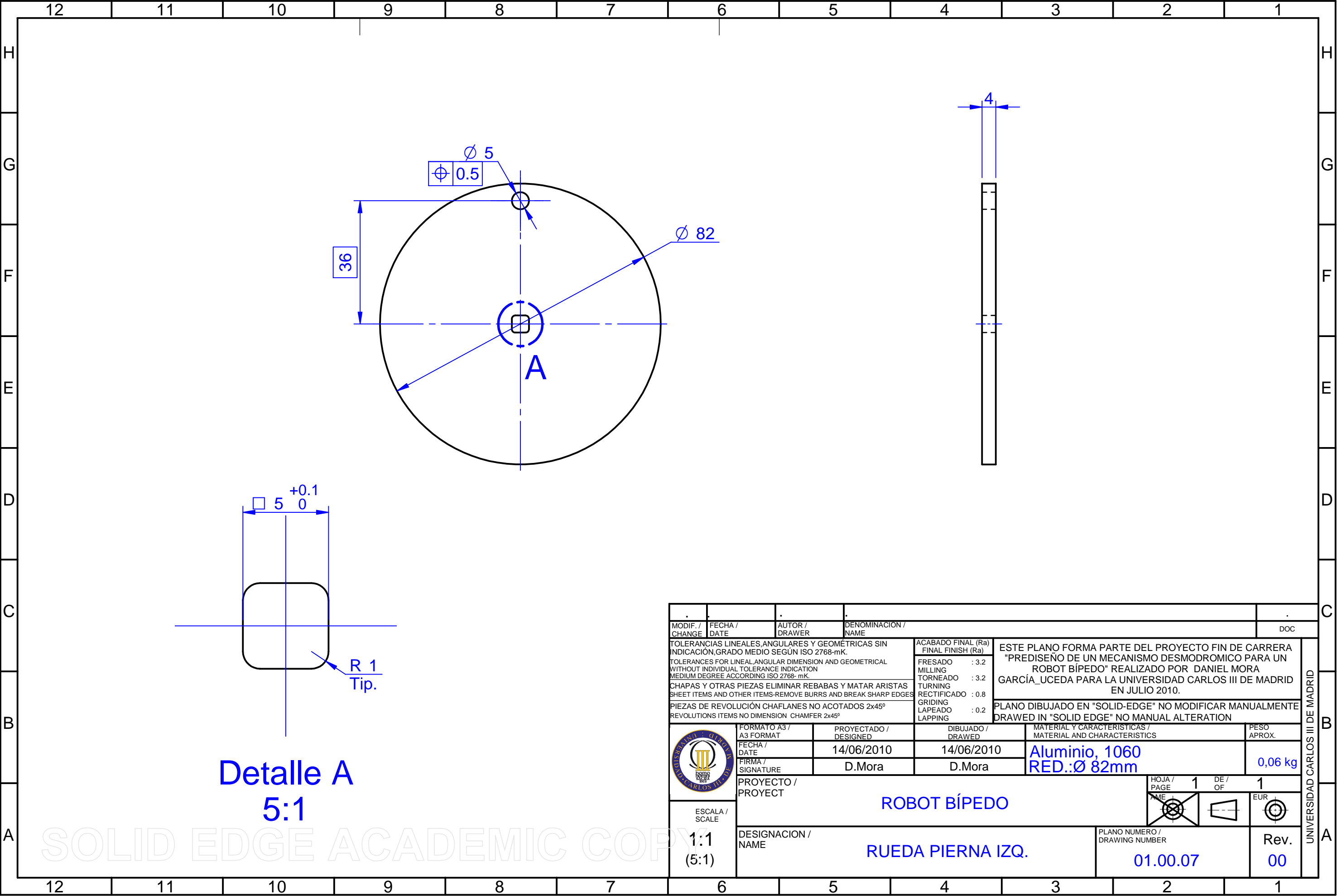
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACIÓN / NAME		DOC
TOLERANCIAS LINEALES,ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN,GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.
TOLERANCES FOR LINEAL,ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			FRESADO : 3.2 MILLING		
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			TORNEADO : 3.2 TURNING		
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING LAPEADO : 0.2 LAPPING		
			PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION		
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX.
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	Aluminio, 1060 RECT.:10x4mm	0,01 kg
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora		
	PROYECTO / PROJECT				HOJA / PAGE
ROBOT BÍPEDO					
				EUR	
ESCALA / SCALE	BARRA UNION			PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER	Rev.
2:1				01.00.04	00


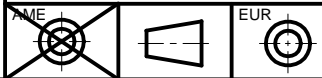
UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

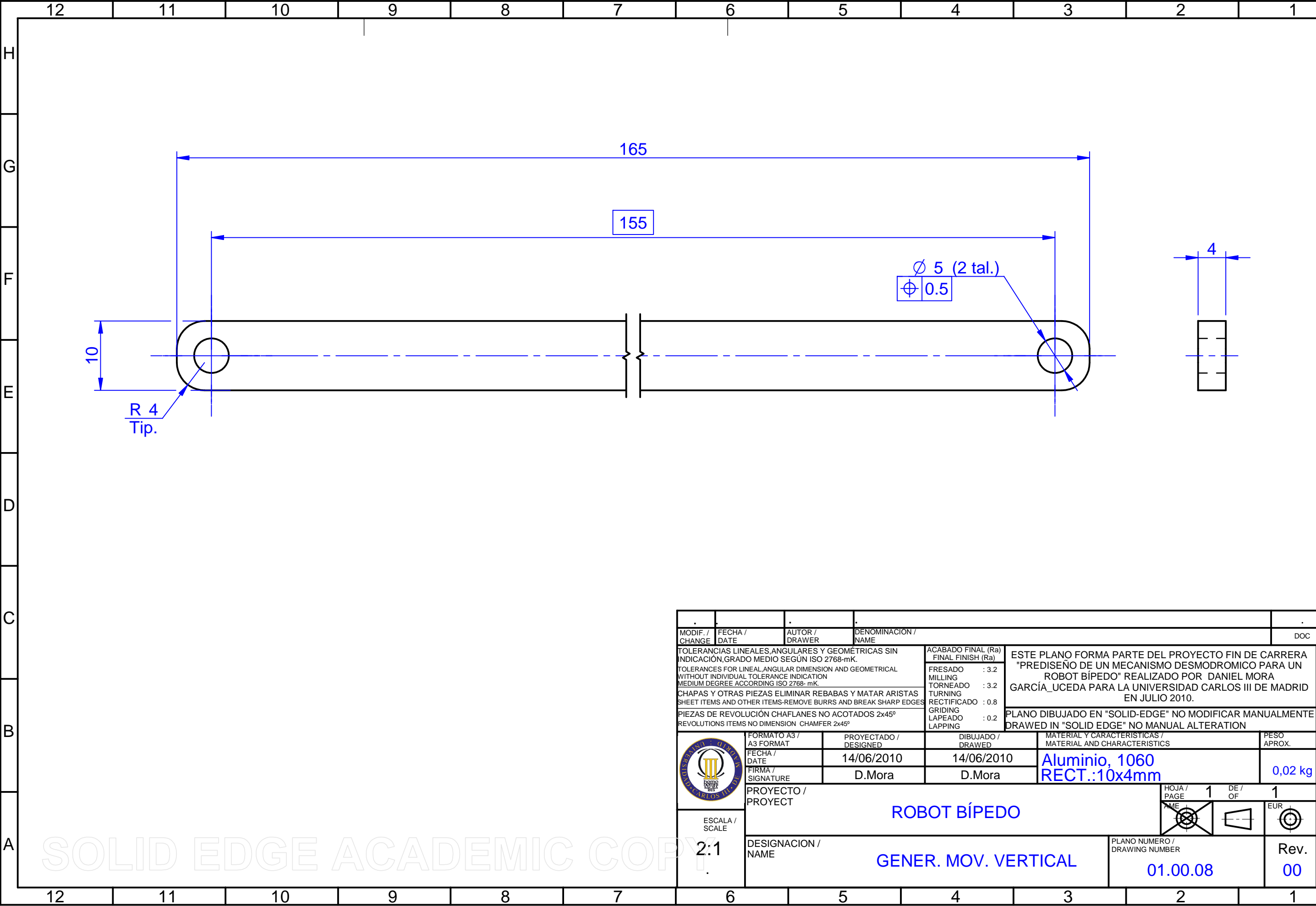




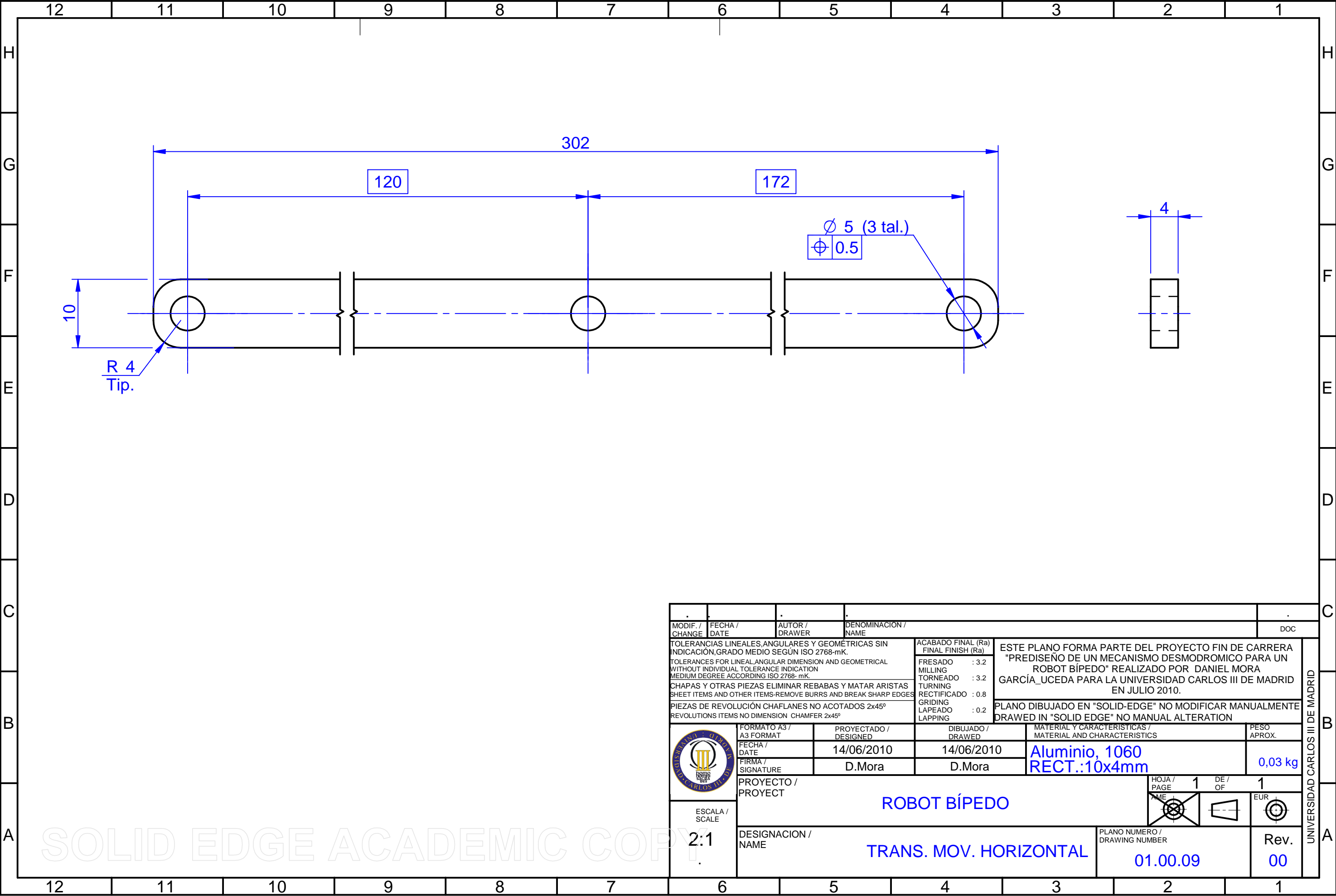
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME		DOC
TOLERANCIAS LINEALES,ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN,GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL,ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			FRESADO : 3.2 MILLING TORNEADO : 3.2 TURNING		
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING LAPEADO : 0.2 LAPPING		
PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION					
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWN	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX.
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	Aluminio, 1060 RECT.:10x4mm	0,00 kg
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora		
	PROYECTO / PROJECT				HOJA / PAGE 1 DE / OF 1
ESCALA / SCALE 5:1	ROBOT BÍPEDO				EUR
DESIGNACION / NAME			PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		Rev.
ENGANCHE TREN INF.			01.00.06		00


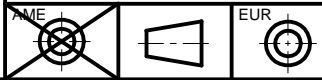


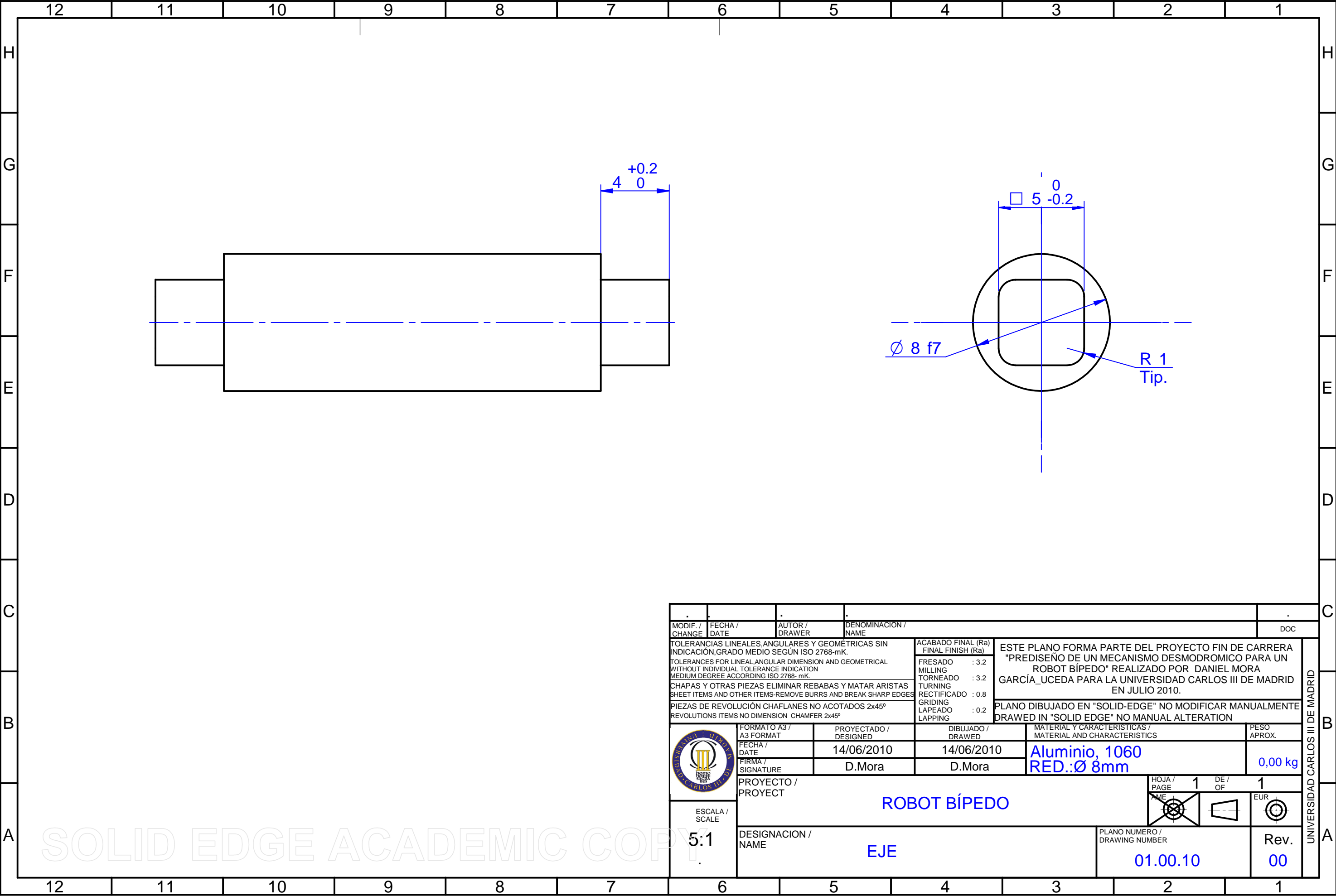
MODIF. / CHANGE		FECHA / DATE		AUTOR / DRAWER		DENOMINACION / NAME				DOC	
TOLERANCIAS LINEALES,ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACION,GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL,ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.						ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.			
						FRESADO : 3.2 MILLING TORNEADO : 3.2 TURNING RECTIFICADO : 0.8 GRIDING LAPEADO : 0.2 LAPPING					
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES								PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION			
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°											
		FORMATO A3 / A3 FORMAT		PROYECTADO / DESIGNED		DIBUJADO / DRAWN		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS		PESO APROX.	
		FECHA / DATE		14/06/2010		14/06/2010		Aluminio, 1060 RED.:Ø 82mm		0,06 kg	
		FIRMA / SIGNATURE		D.Mora		D.Mora					
PROYECTO / PROJECT								HOJA / PAGE		1 DE / OF 1	
ROBOT BÍPEDO										EUR	
ESCALA / SCALE 1:1 (5:1)		DESIGNACION / NAME						PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		Rev.	
		RUEDA PIERNA IZQ.						01.00.07		00	



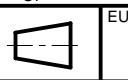


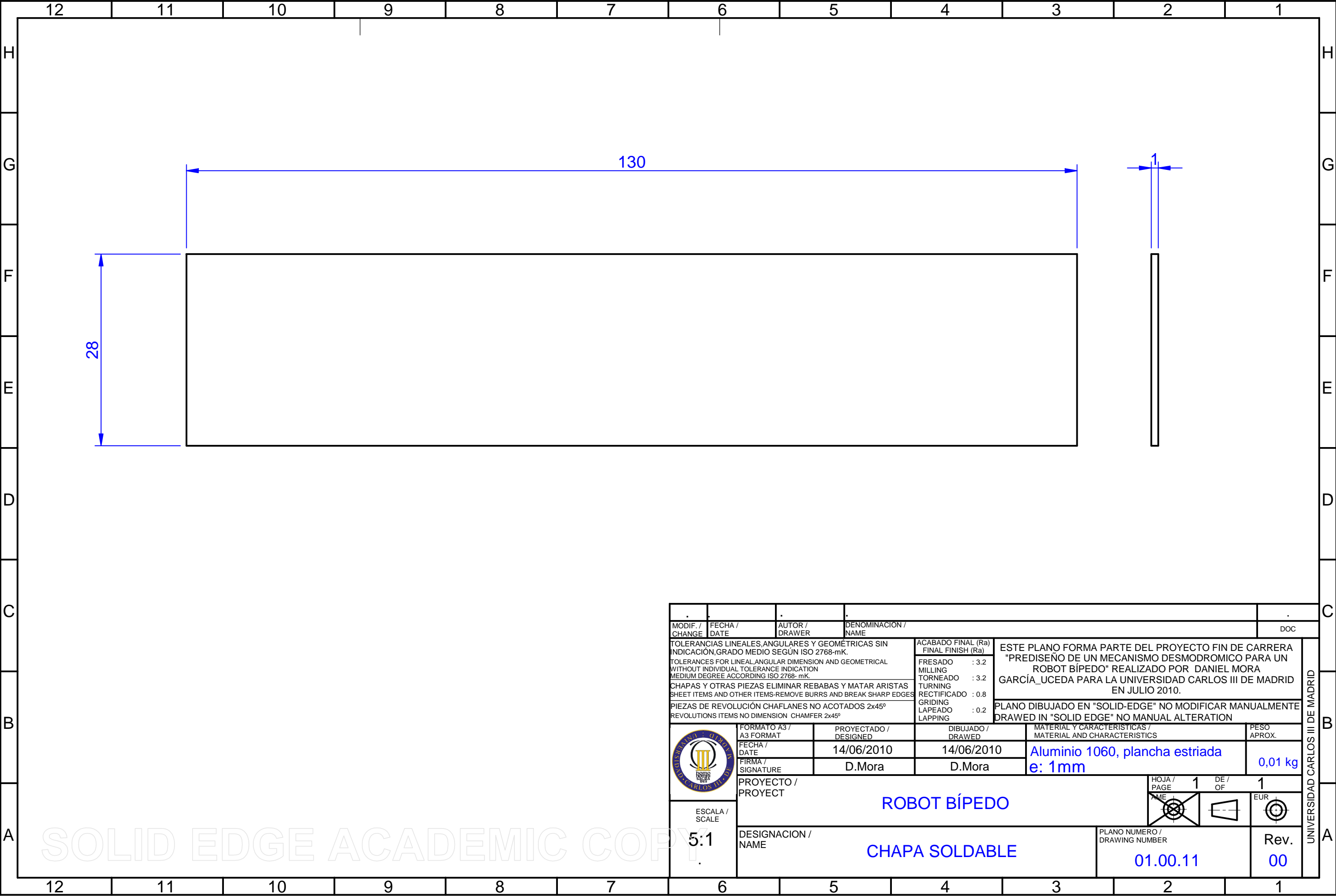
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACIÓN / NAME	DOC
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK. CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra) FRESADO : 3.2 MILLING TORNEADO : 3.2 TURNING RECTIFICADO : 0.8 GRINDING LAPEADO : 0.2 LAPPING	ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010. PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWN	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	Aluminio, 1060 RECT.:10x4mm
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora	PESO APROX. 0,02 kg
PROYECTO / PROYECT				HOJA / PAGE
ROBOT BÍPEDO				1 DE / OF
DESIGNACION / NAME				EUR
GENER. MOV. VERTICAL				Rev. 00
PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER				01.00.08



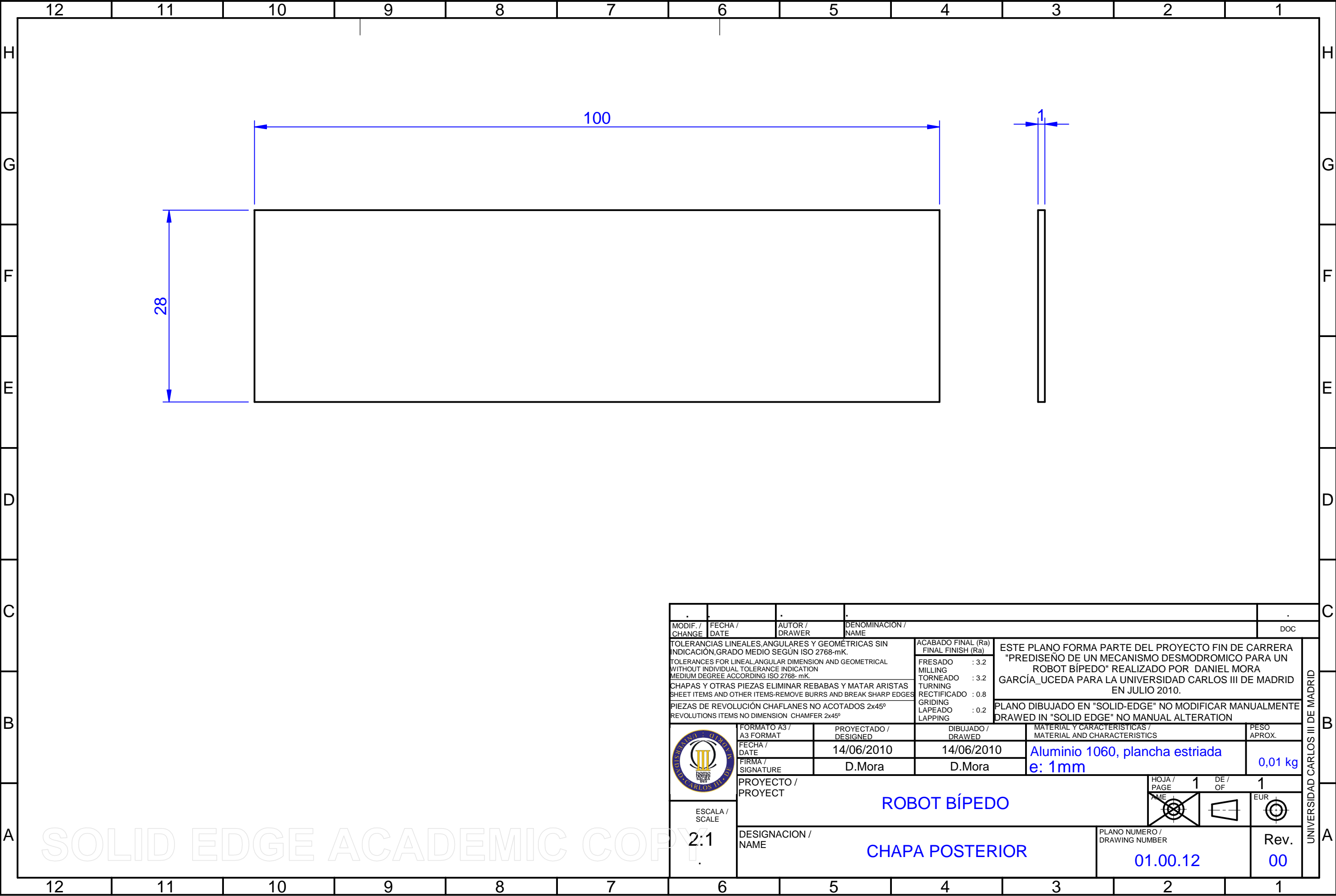
.		
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME		DOC	
TOLERANCIAS LINEALES,ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN,GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL,ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.	
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			FRESADO : 3.2 MILLING TORNEADO : 3.2 TURNING			
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING LAPEADO : 0.2 LAPPING			
					PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION	
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWN		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX.
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010		Aluminio, 1060 RECT.:10x4mm	0,03 kg
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora			
	PROYECTO / PROJECT					HOJA / PAGE 1 DE / OF 1
ESCALA / SCALE	ROBOT BÍPEDO					
2:1	TRANS. MOV. HORIZONTAL				PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER	Rev.
					01.00.09	00



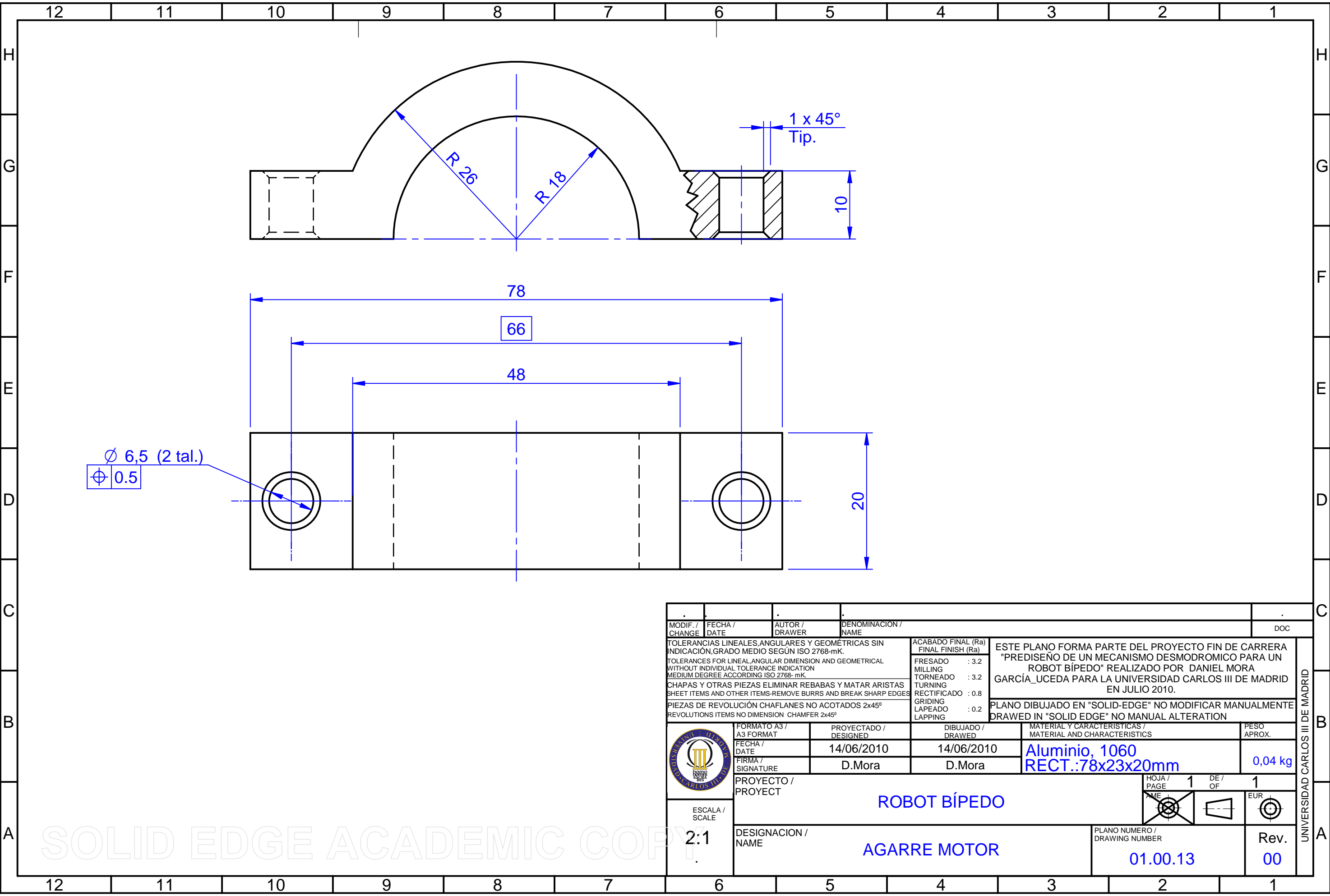
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACIÓN / NAME		DOC
TOLERANCIAS LINEALES,ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN,GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL,ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			FRESADO : 3.2 MILLING TORNEADO : 3.2 TURNING		
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING LAPEADO : 0.2 LAPPING		
PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION					
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWN	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX.
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	Aluminio, 1060 RED.:Ø 8mm	0,00 kg
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora		
	PROYECTO / PROJECT	ROBOT BÍPEDO			HOJA / PAGE
ESCALA / SCALE	5:1				
DESIGNACION / NAME			PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		Rev.
EJE			01.00.10		00

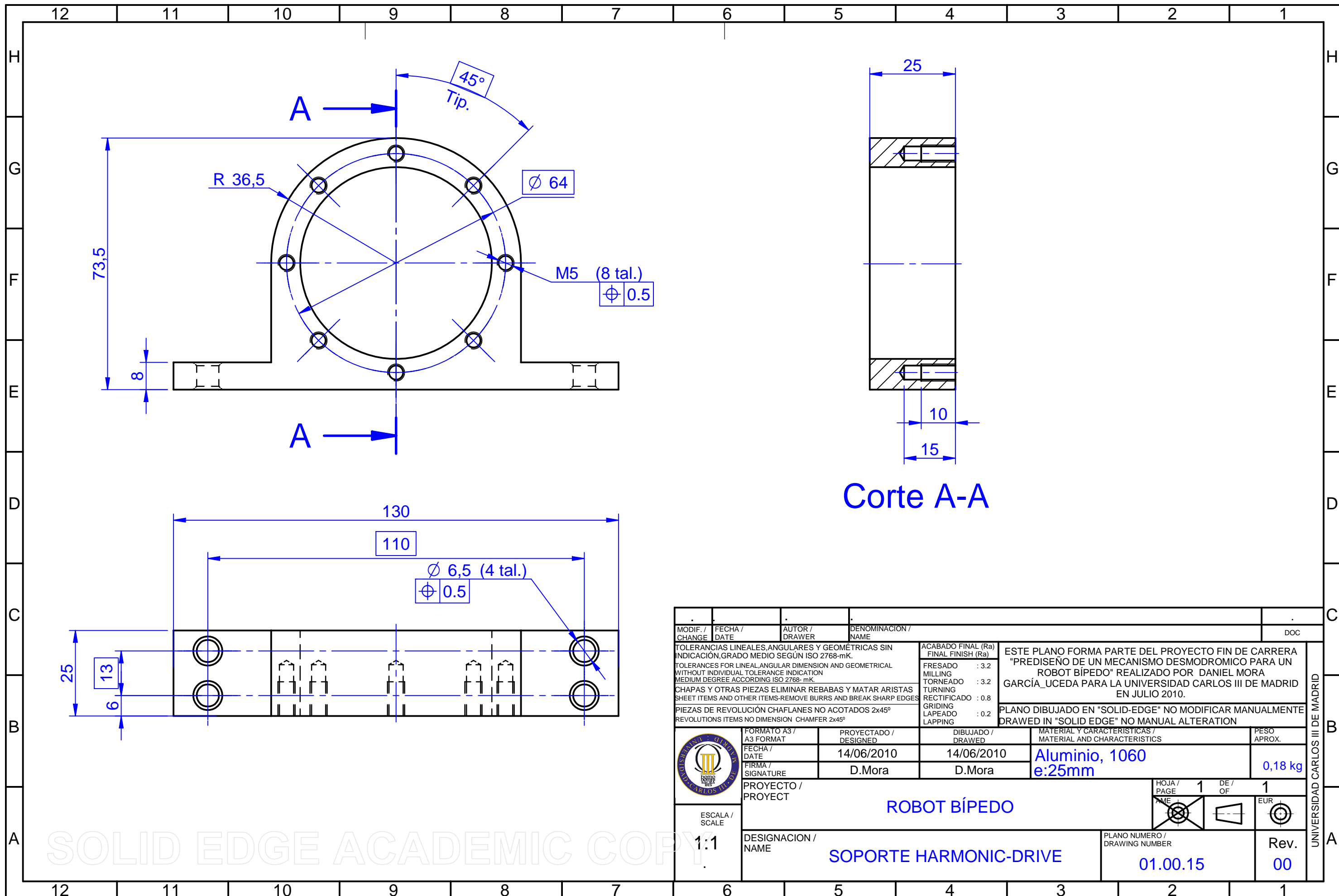


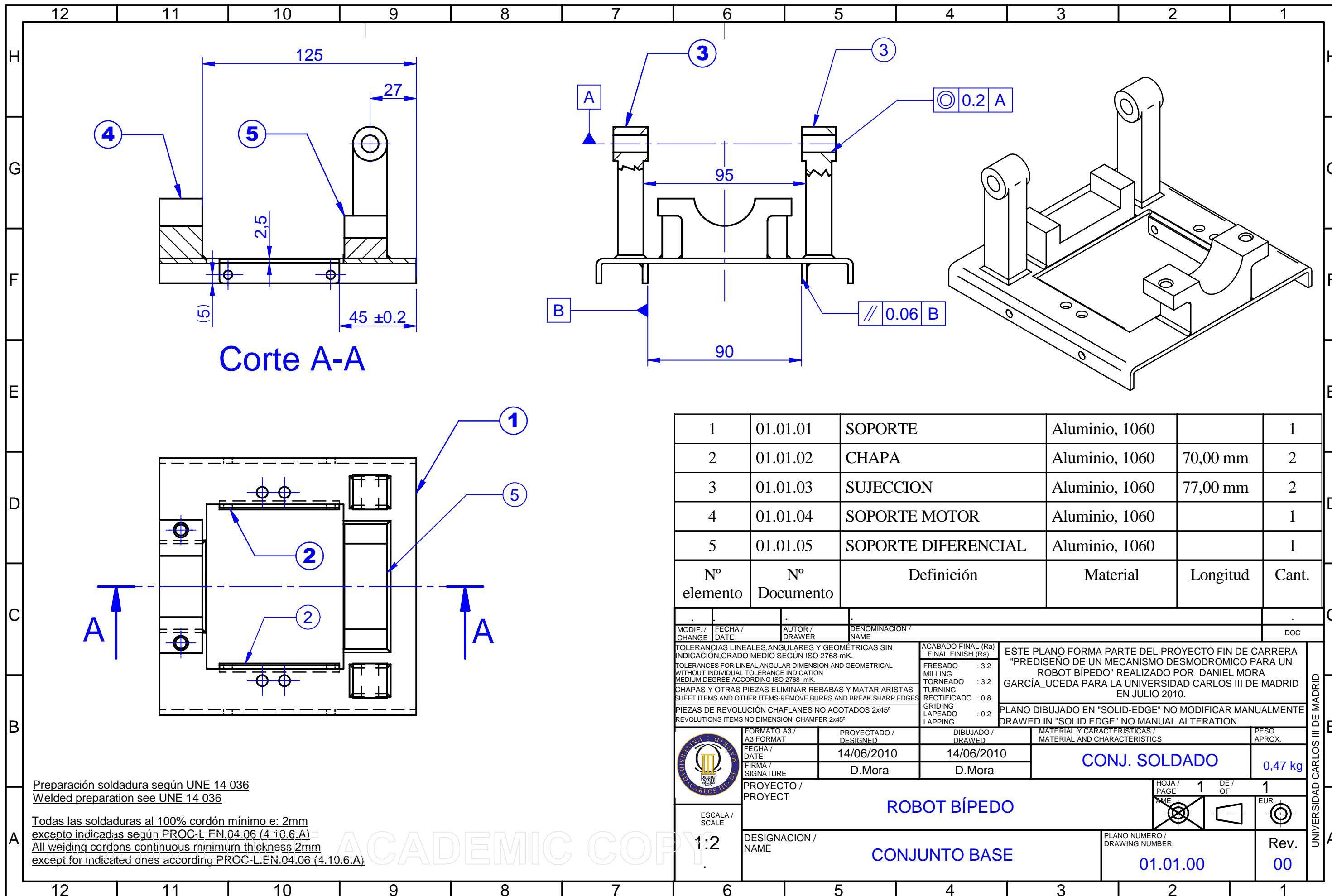
MODIF. / CHANGE		FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACIÓN / NAME		DOC	
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.				ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.	
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES				FRESADO : 3.2 MILLING TORNEADO : 3.2 TURNING RECTIFICADO : 0.8 GRINDING LAPEADO : 0.2 LAPPING		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION	
FORMATO A3 / A3 FORMAT		PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS		PESO APROX.	
FECHA / DATE		14/06/2010	14/06/2010	Aluminio 1060, plancha estriada e: 1mm		0,01 kg	
FIRMA / SIGNATURE		D.Mora	D.Mora				
PROYECTO / PROYECT				ROBOT BÍPEDO		HOJA / PAGE	
DESIGNACION / NAME				CHAPA SOLDABLE		1 DE / OF	
ESCALA / SCALE				5:1		1 EUR	
PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER				01.00.11		Rev. 00	

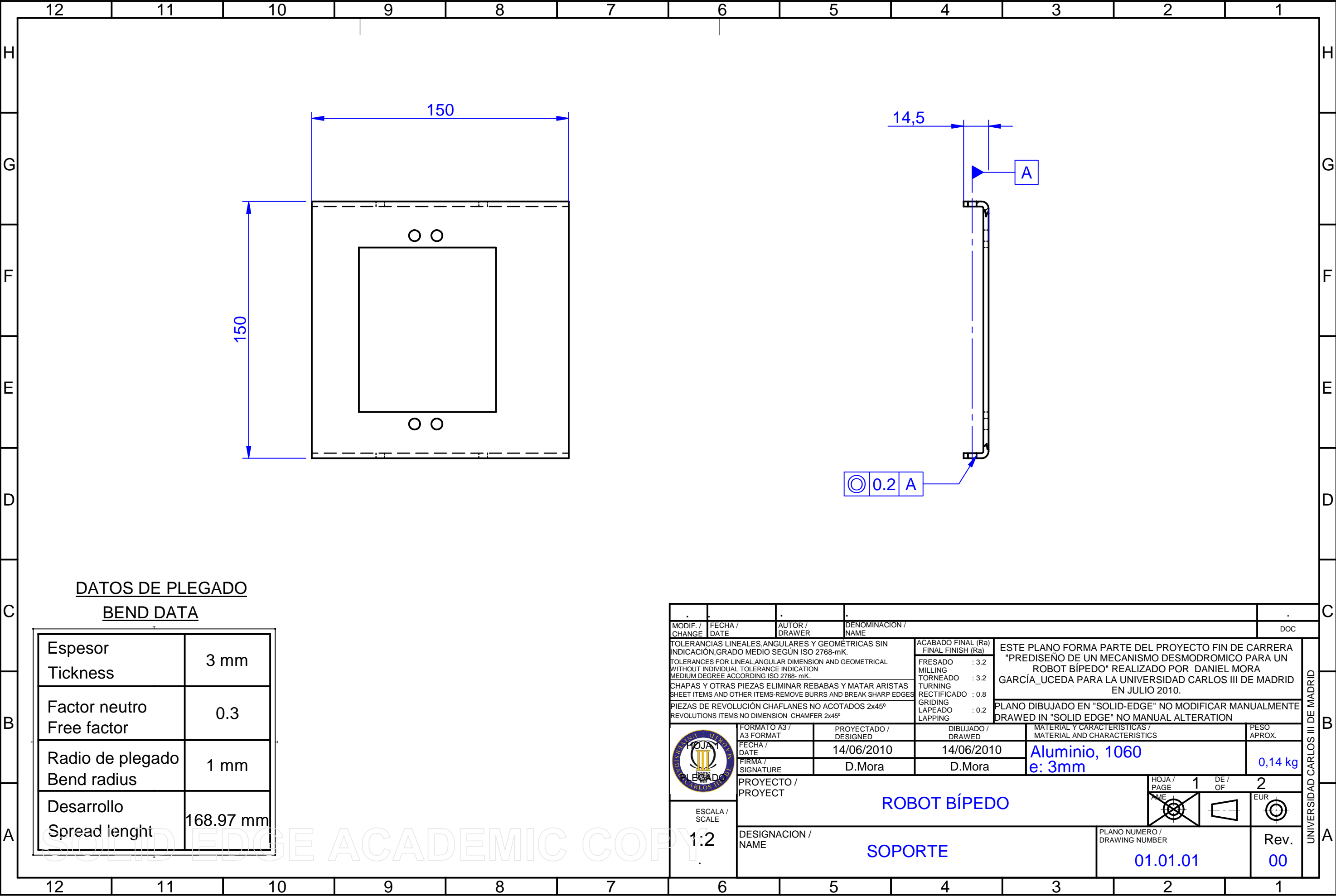


. / . / .		. / . / .		. / . / .		. / . / .			
MODIF. / CHANGE		FECHA / DATE		AUTOR / DRAWER		DENOMINACIÓN / NAME		DOC	
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.				ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.			
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES				FRESADO : 3.2 MILLING : 3.2 TORNEADO : 3.2 TURNING : 3.2 RECTIFICADO : 0.8 GRINDING : 0.2 LAPEADO : 0.2 LAPPING : 0.2		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION			
FORMATO A3 / A3 FORMAT		PROYECTADO / DESIGNED		DIBUJADO / DRAWED		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS		PESO APROX.	
FECHA / DATE		14/06/2010		14/06/2010		Aluminio 1060, plancha estriada e: 1mm		0,01 kg	
FIRMA / SIGNATURE		D.Mora		D.Mora					
PROYECTO / PROYECT		ROBOT BÍPEDO				HOJA / PAGE		1 DE / OF 1	
DESIGNACION / NAME		CHAPA POSTERIOR				PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		01.00.12	
ESCALA / SCALE		2:1				EUR		Rev. 00	









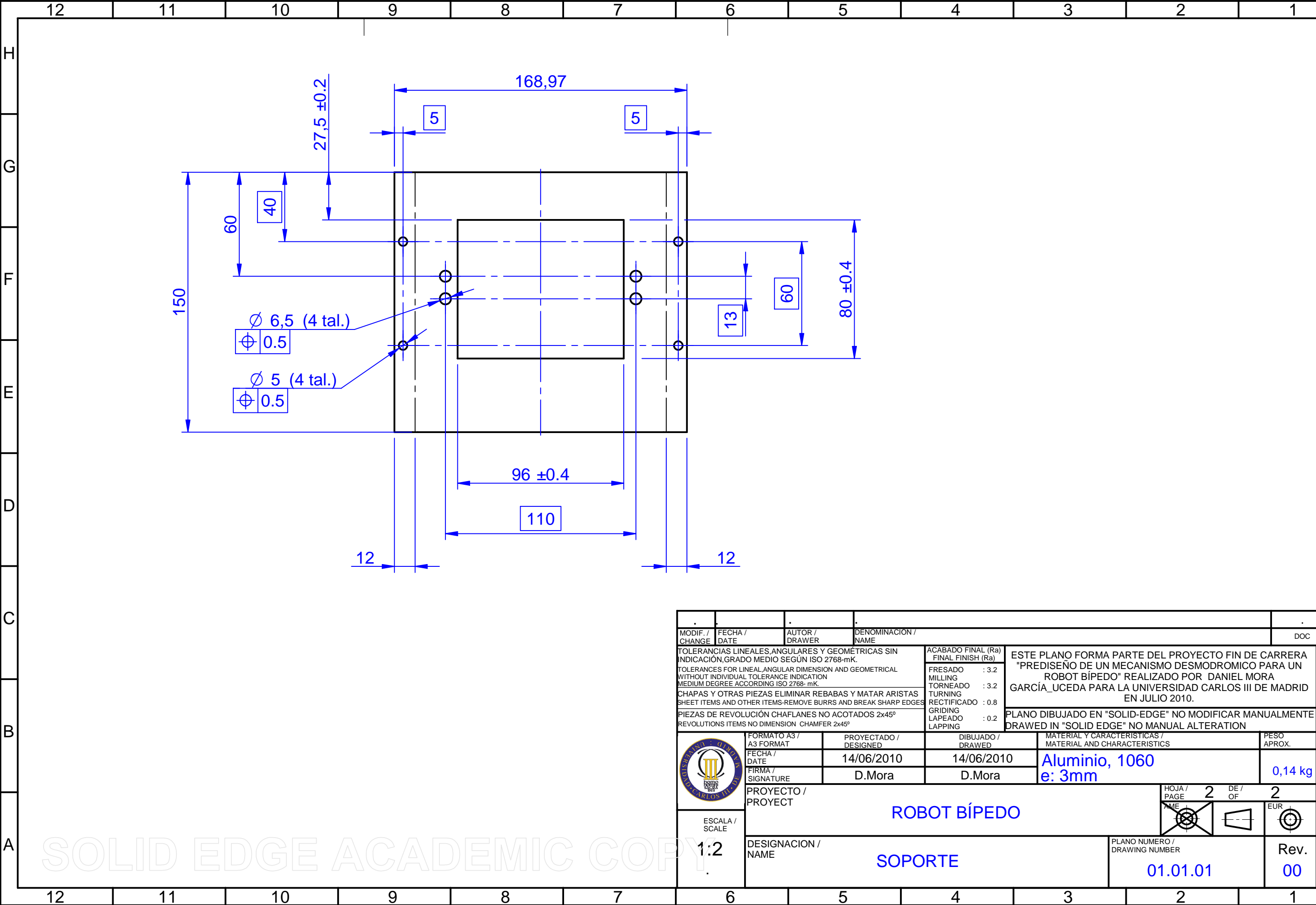




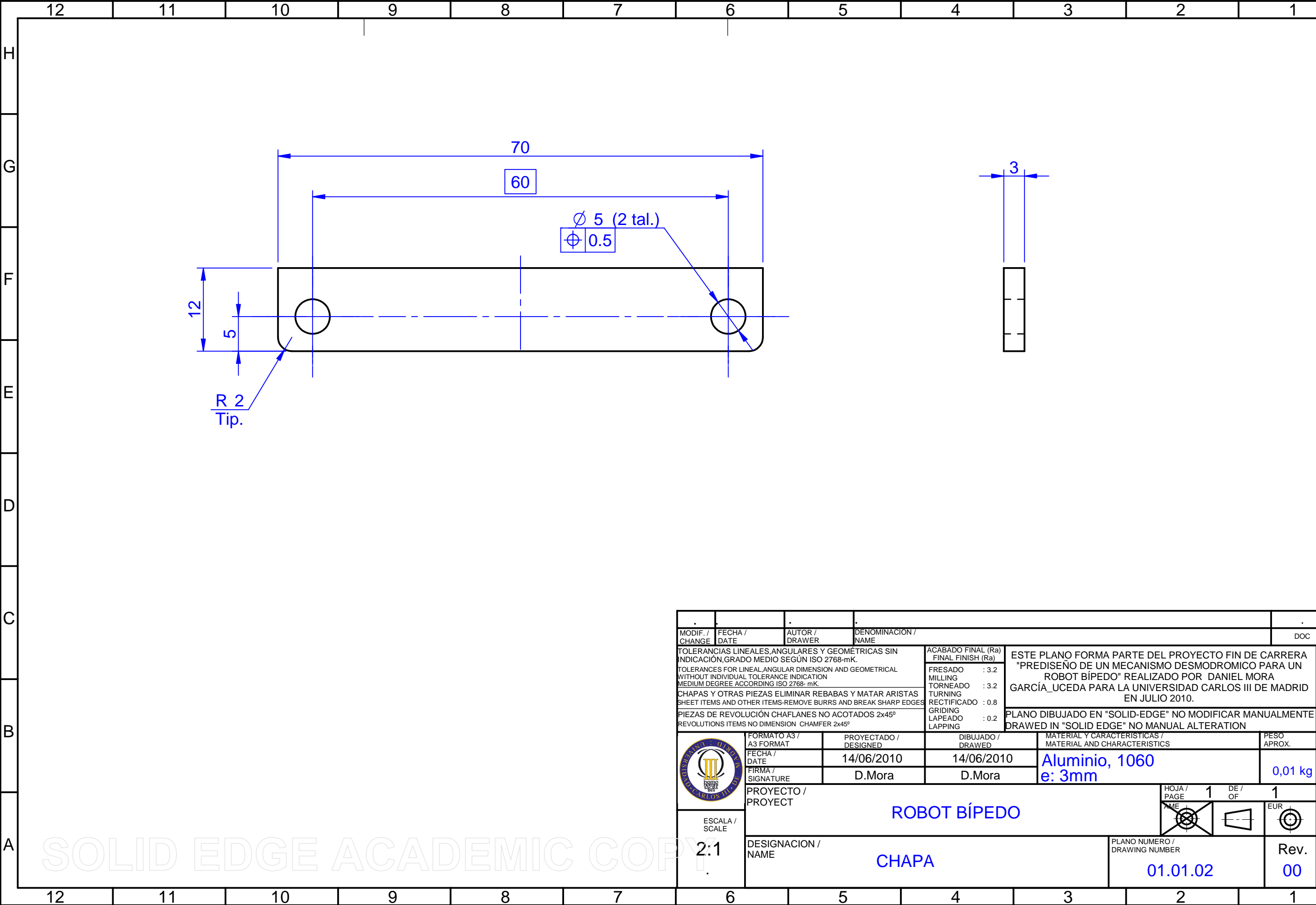
DATOS DE PLEGADO
BEND DATA

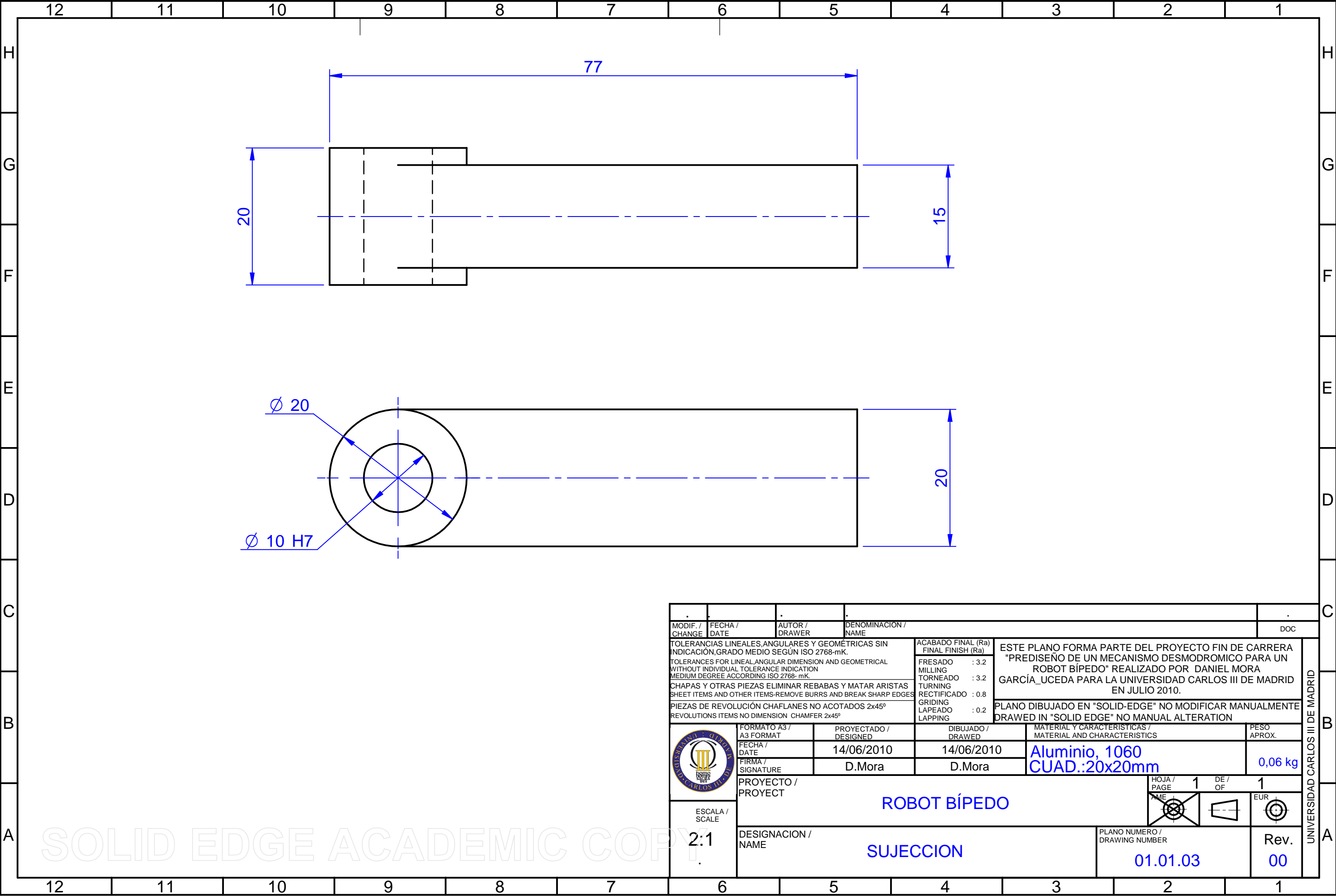
Espesor Tickness	3 mm
Factor neutro Free factor	0.3
Radio de plegado Bend radius	1 mm
Desarrollo Spread lenght	168.97 mm

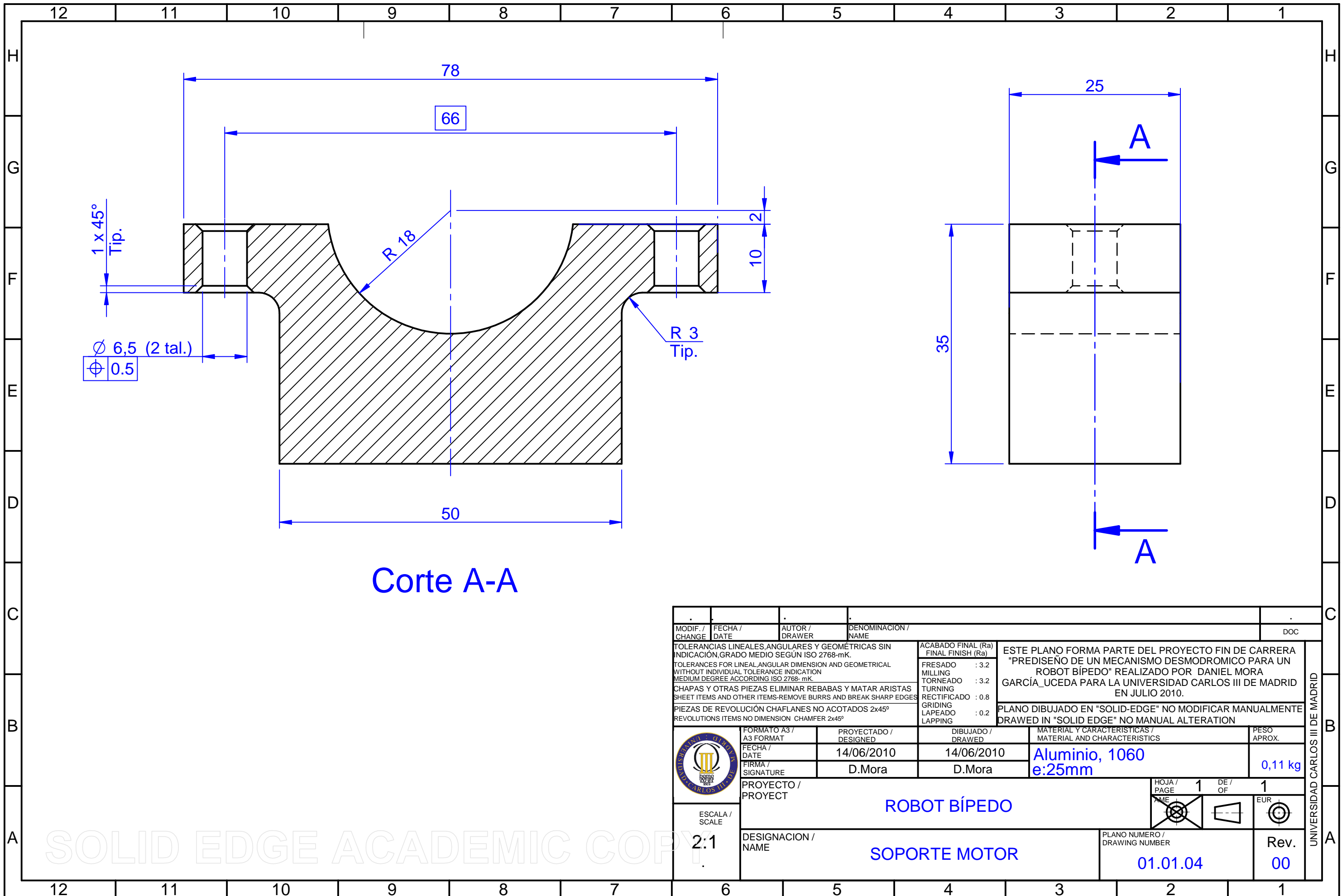
MODIF. / CHANGE		FECHA / DATE		AUTOR / DRAWER		DENOMINACION / NAME				DOC					
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK.						ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.							
TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.						FRESADO : 3.2 MILLING									
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES						TORNEADO : 3.2 TURNING									
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°						RECTIFICADO : 0.8 GRINDING		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWED IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION							
						LAPEADO : 0.2 LAPPING									
		FORMATO A3 / A3 FORMAT		PROYECTADO / DESIGNED		DIBUJADO / DRAWED		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS		PESO APROX.					
		FECHA / DATE		14/06/2010		14/06/2010		Aluminio, 1060 e: 3mm		0,14 kg					
		FIRMA / SIGNATURE		D.Mora		D.Mora									
		PROYECTO / PROJECT				ROBOT BÍPEDO				HOJA / PAGE		1 DE / OF		2	
										EUR					
		DESIGNACION / NAME				SOPORTE				PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER				Rev.	
								01.01.01				00			




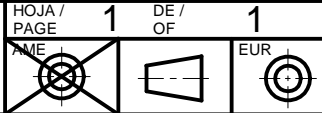
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACIÓN / NAME	DOC
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK. CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra) FRESADO : 3.2 MILLING TORNEADO : 3.2 TURNING RECTIFICADO : 0.8 GRINDING LAPEADO : 0.2 LAPPING	ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010. PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	Aluminio, 1060 e: 3mm
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora	PESO APROX. 0,14 kg
PROYECTO / PROYECT				HOJA / PAGE
ROBOT BÍPEDO				2
DESIGNACION / NAME				DE / OF
SOPORTE				2
ESCALA / SCALE				EUR
1:2				Rev.
PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER				00
01.01.01				

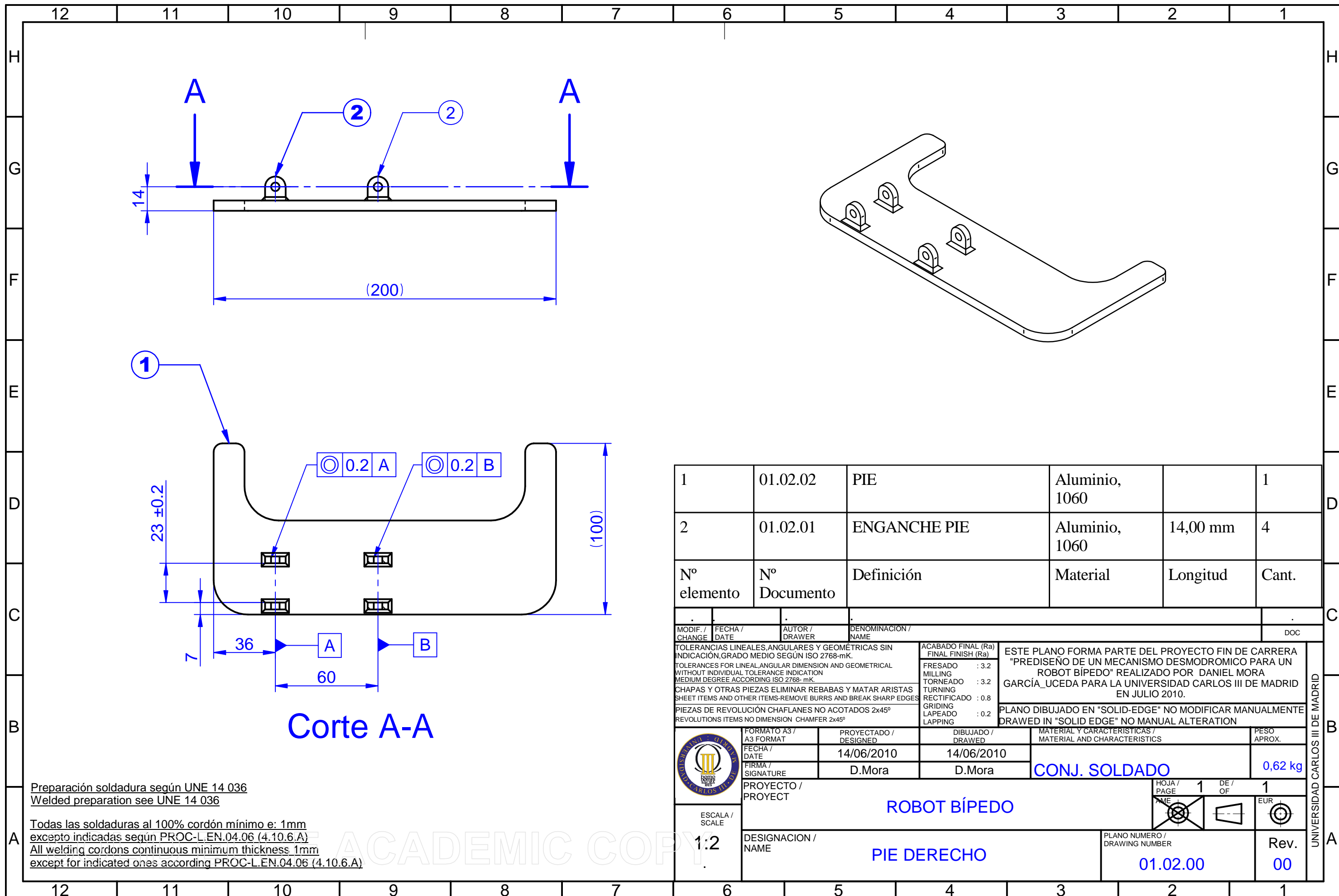


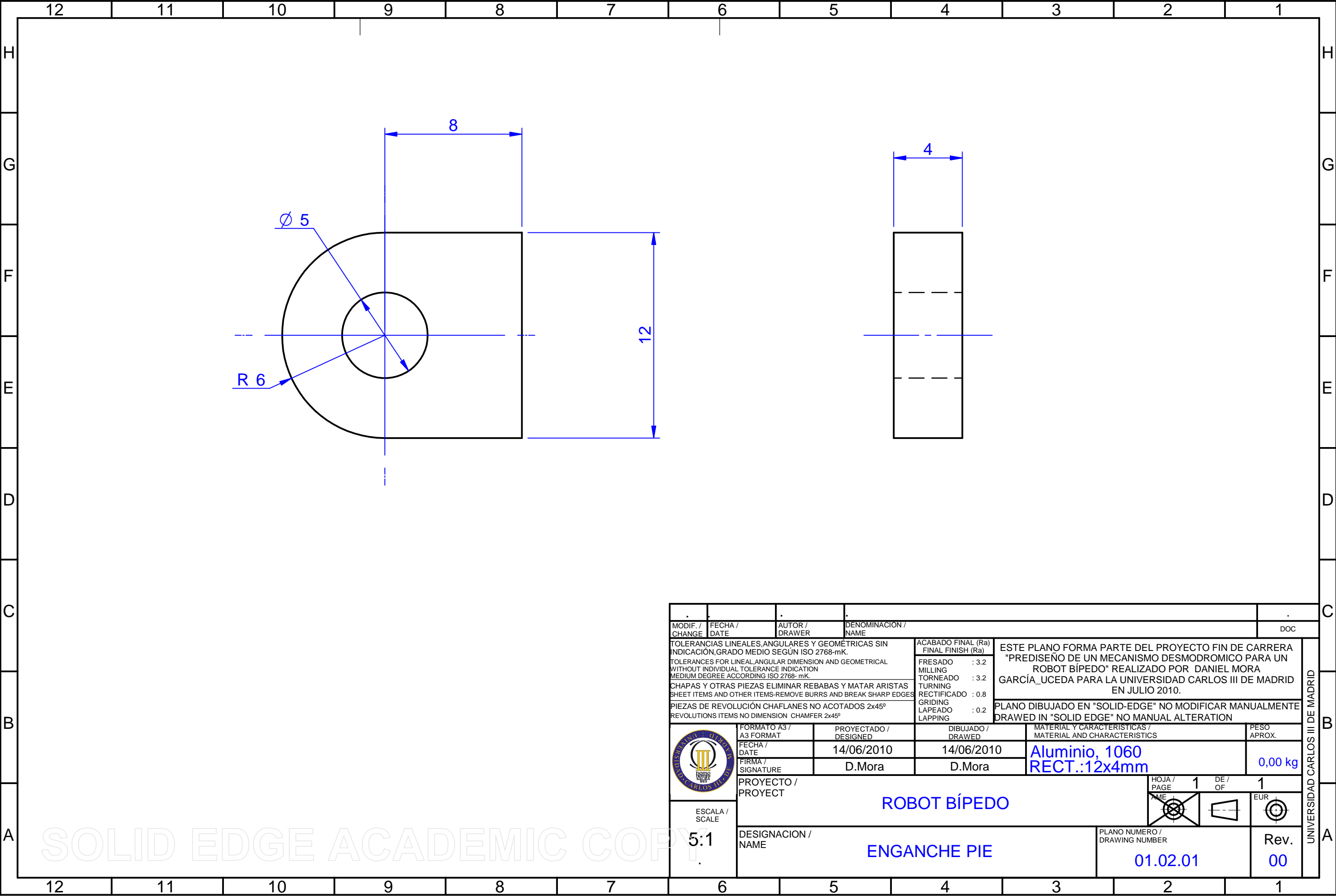


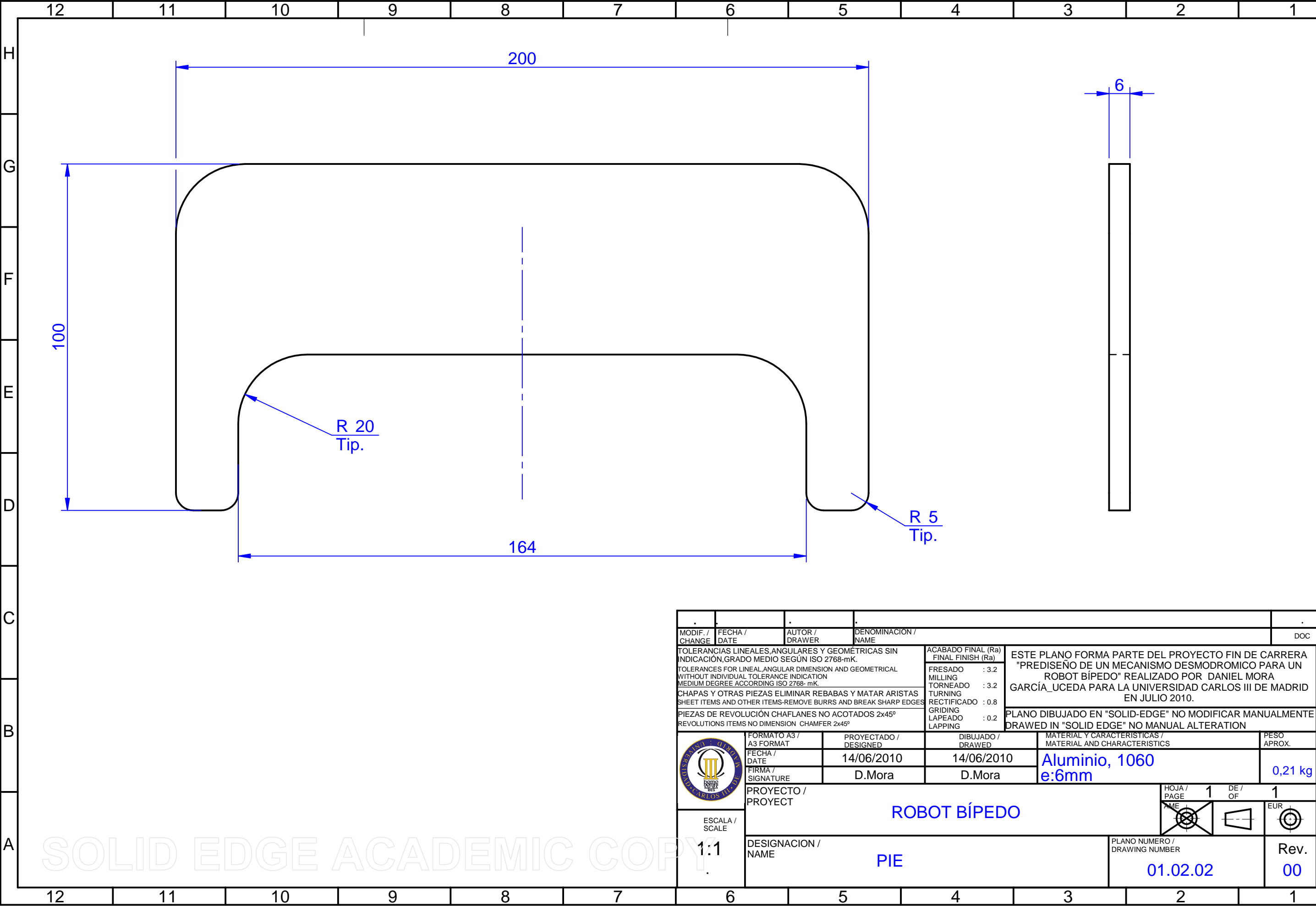


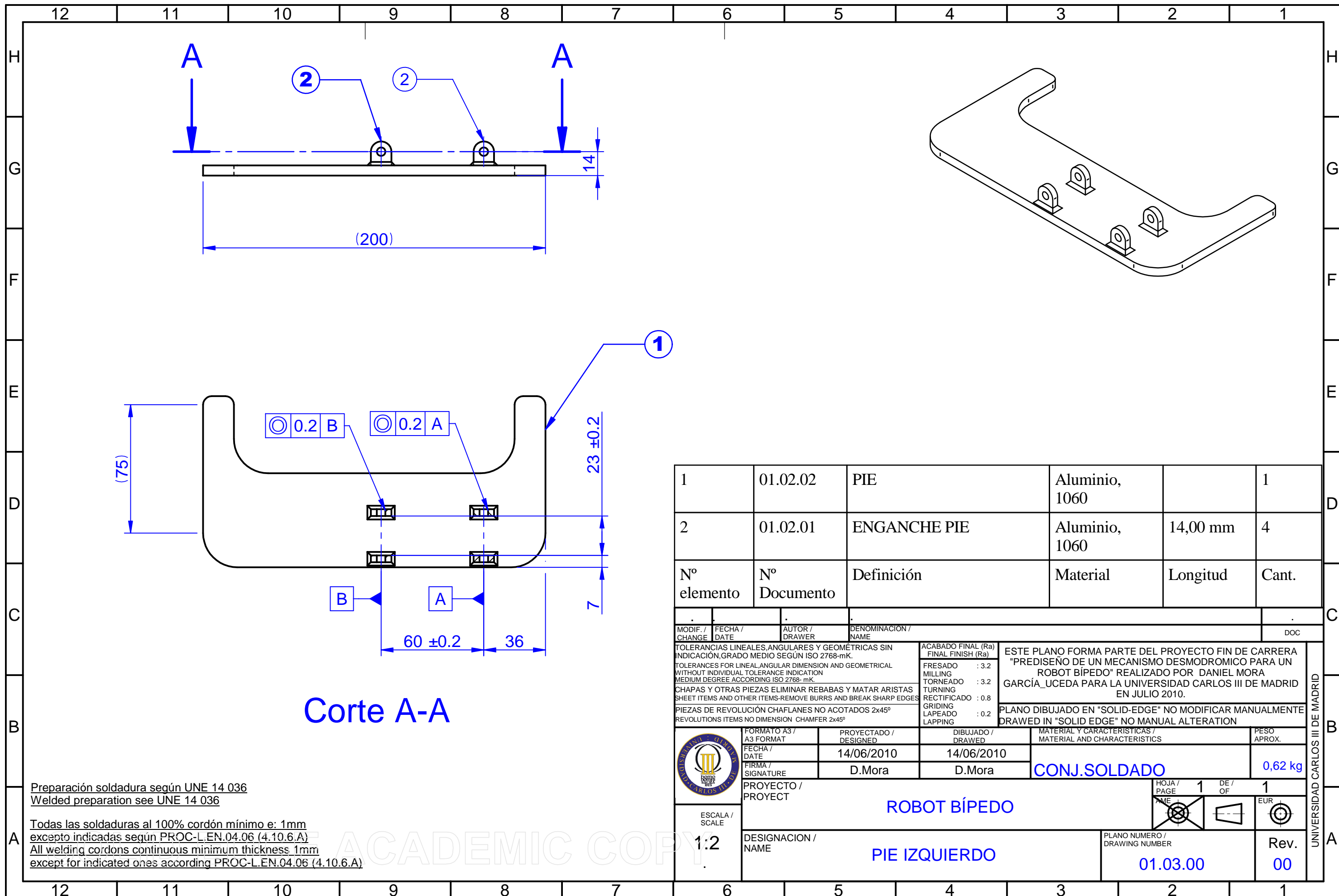
Corte A-A

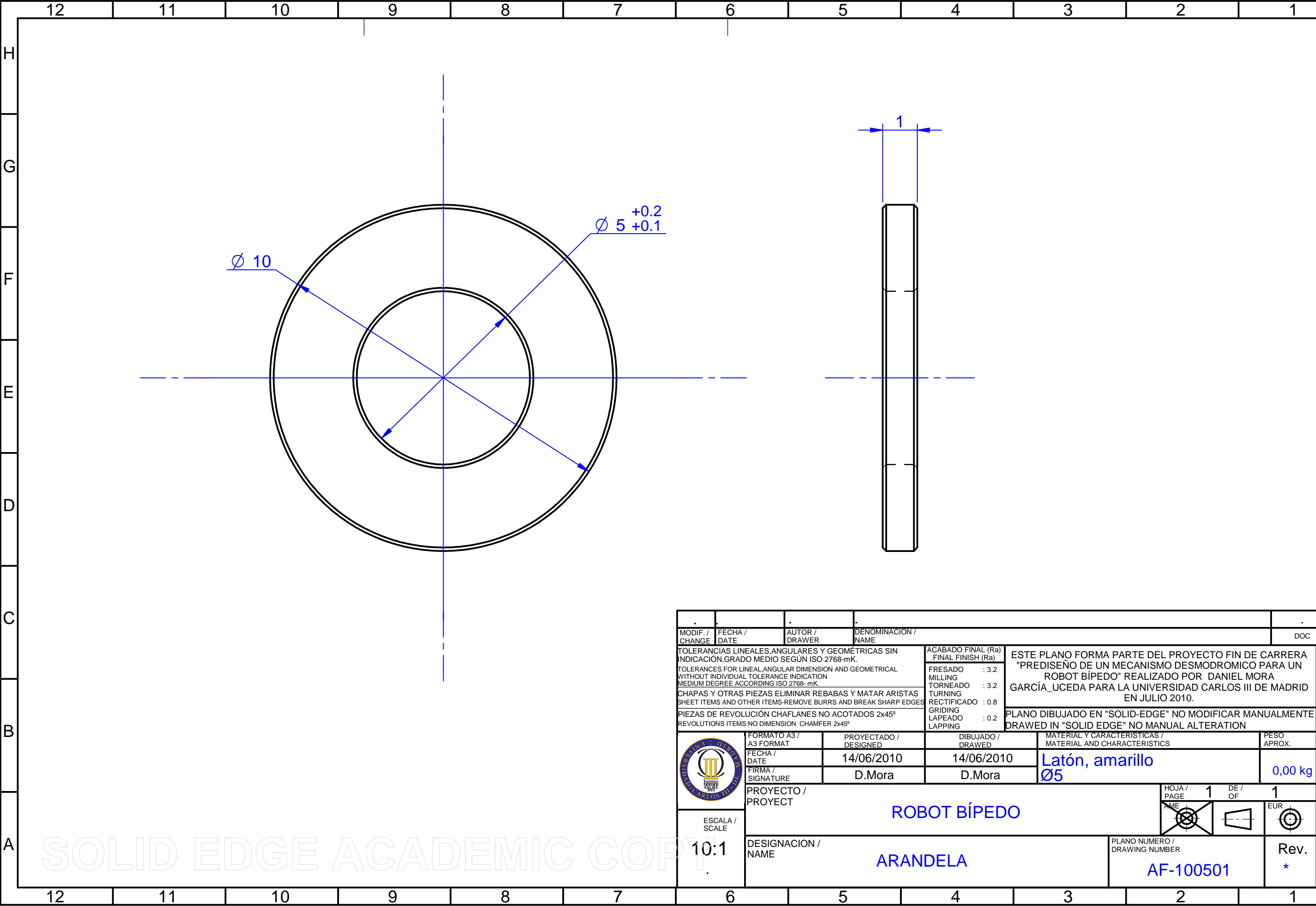
MODIF. / CHANGE		FECHA / DATE		AUTOR / DRAWER		DENOMINACION / NAME		DOC			
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK.				ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.					
TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.				FRESADO : 3.2 MILLING							
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES				TORNEADO : 3.2 TURNING							
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°				RECTIFICADO : 0.8 GRINDING		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION					
				LAPEADO : 0.2 LAPPING							
		FORMATO A3 / A3 FORMAT		PROYECTADO / DESIGNED		DIBUJADO / DRAWN		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS		PESO APROX.	
		FECHA / DATE		14/06/2010		14/06/2010		Aluminio, 1060 e:25mm		0,11 kg	
		FIRMA / SIGNATURE		D.Mora		D.Mora					
ESCALA / SCALE 2:1		PROYECTO / PROJECT									
		ROBOT BÍPEDO									
								DESIGNACION / NAME			
								01.01.04		00	

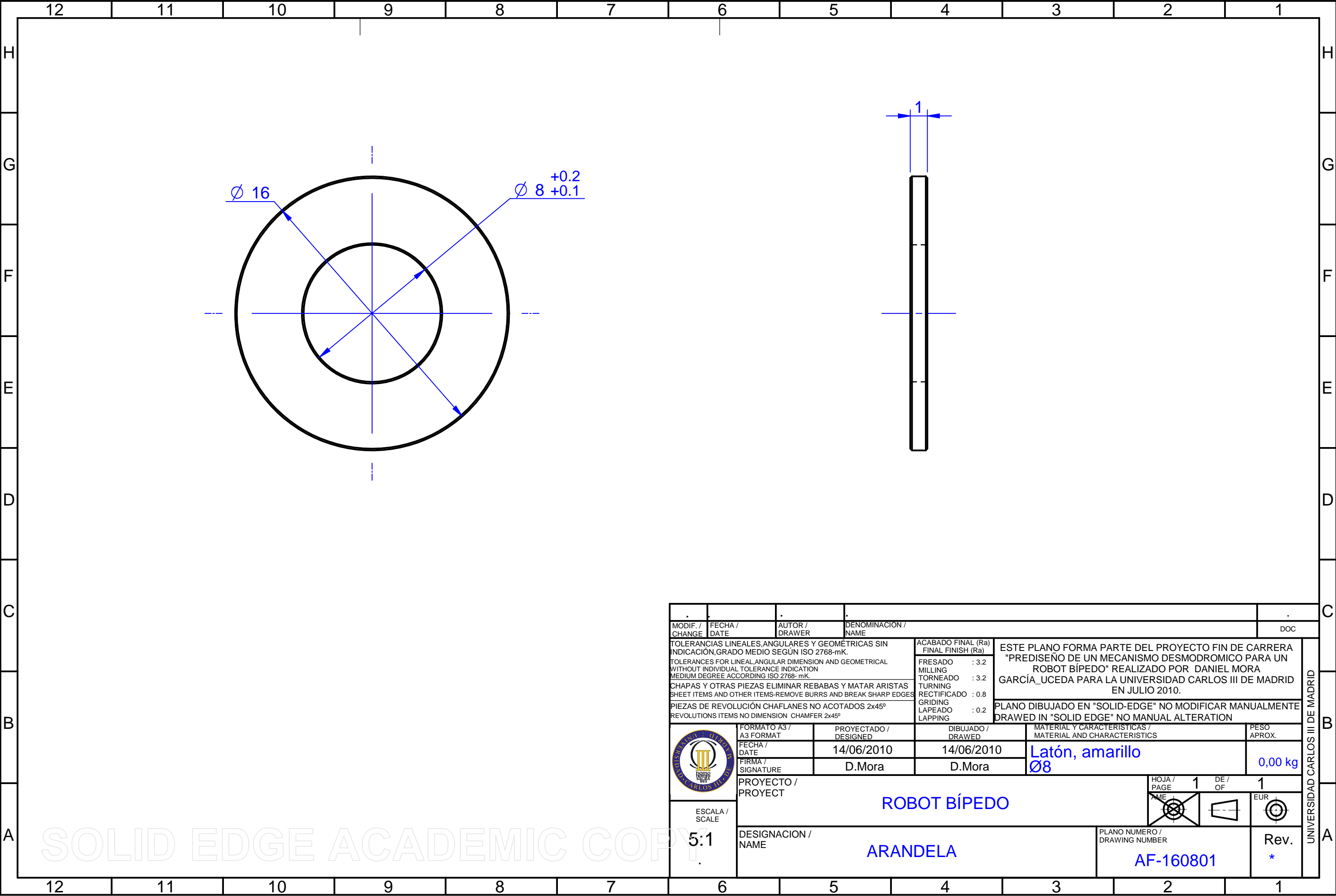






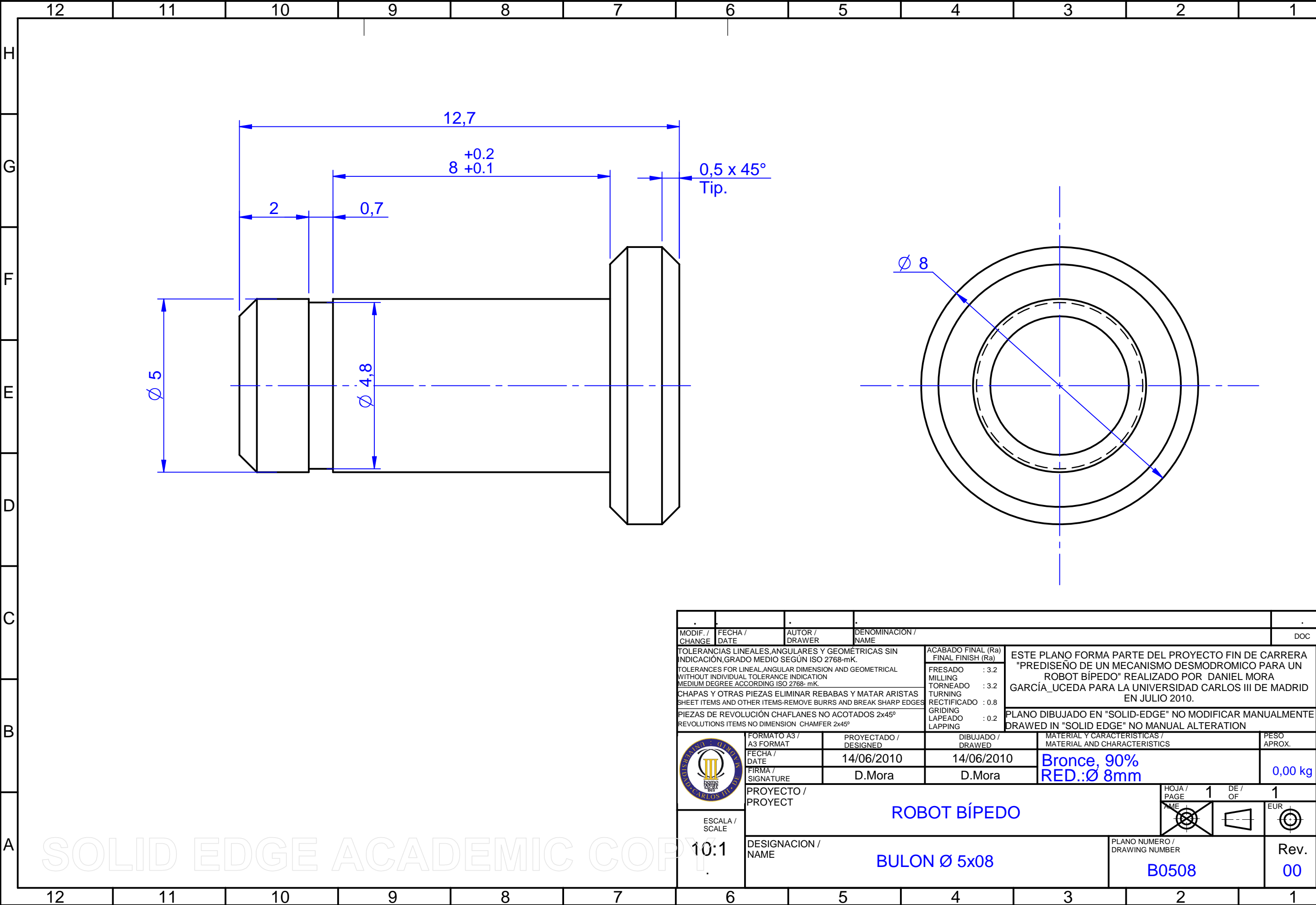


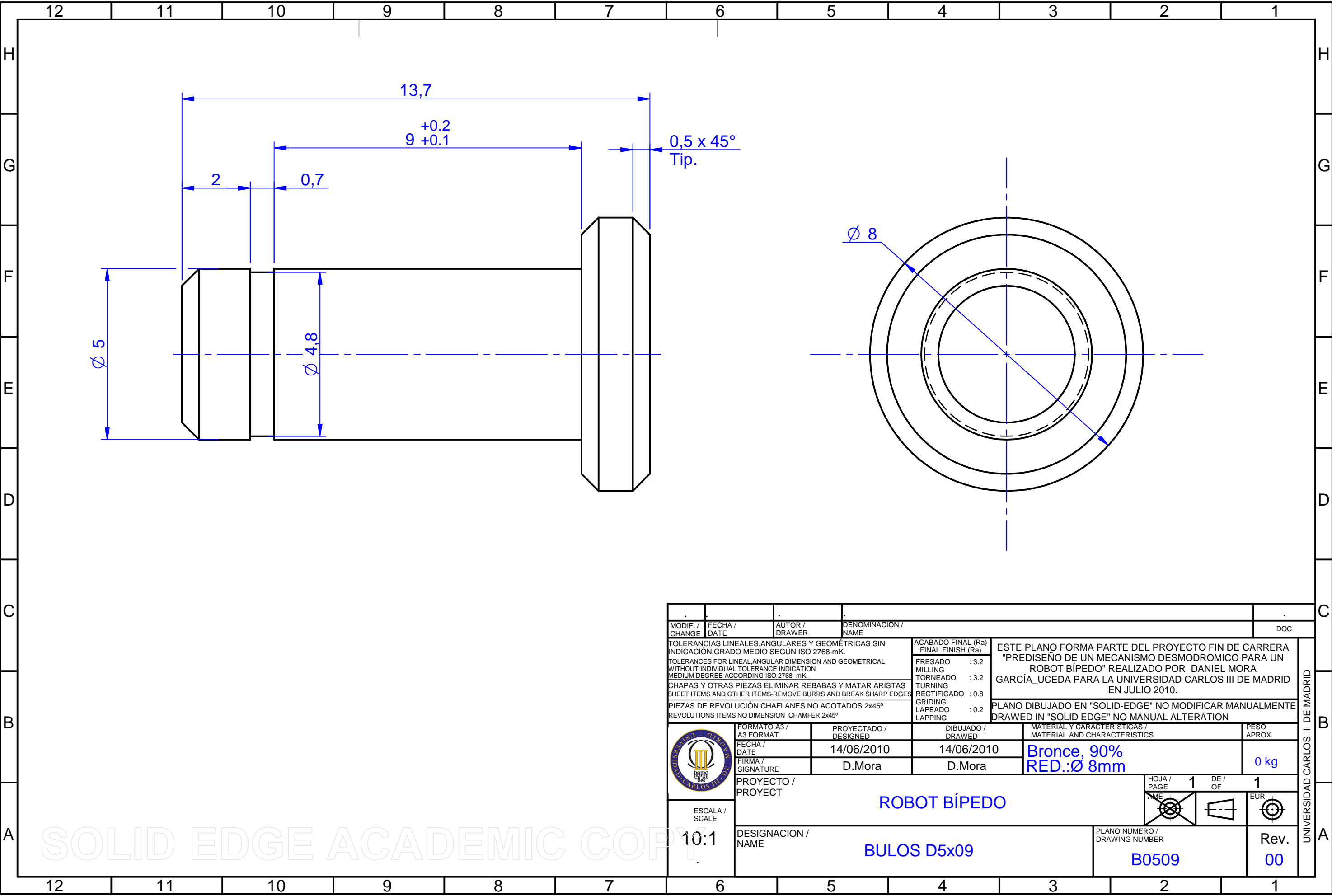



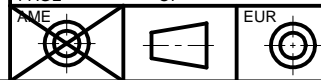


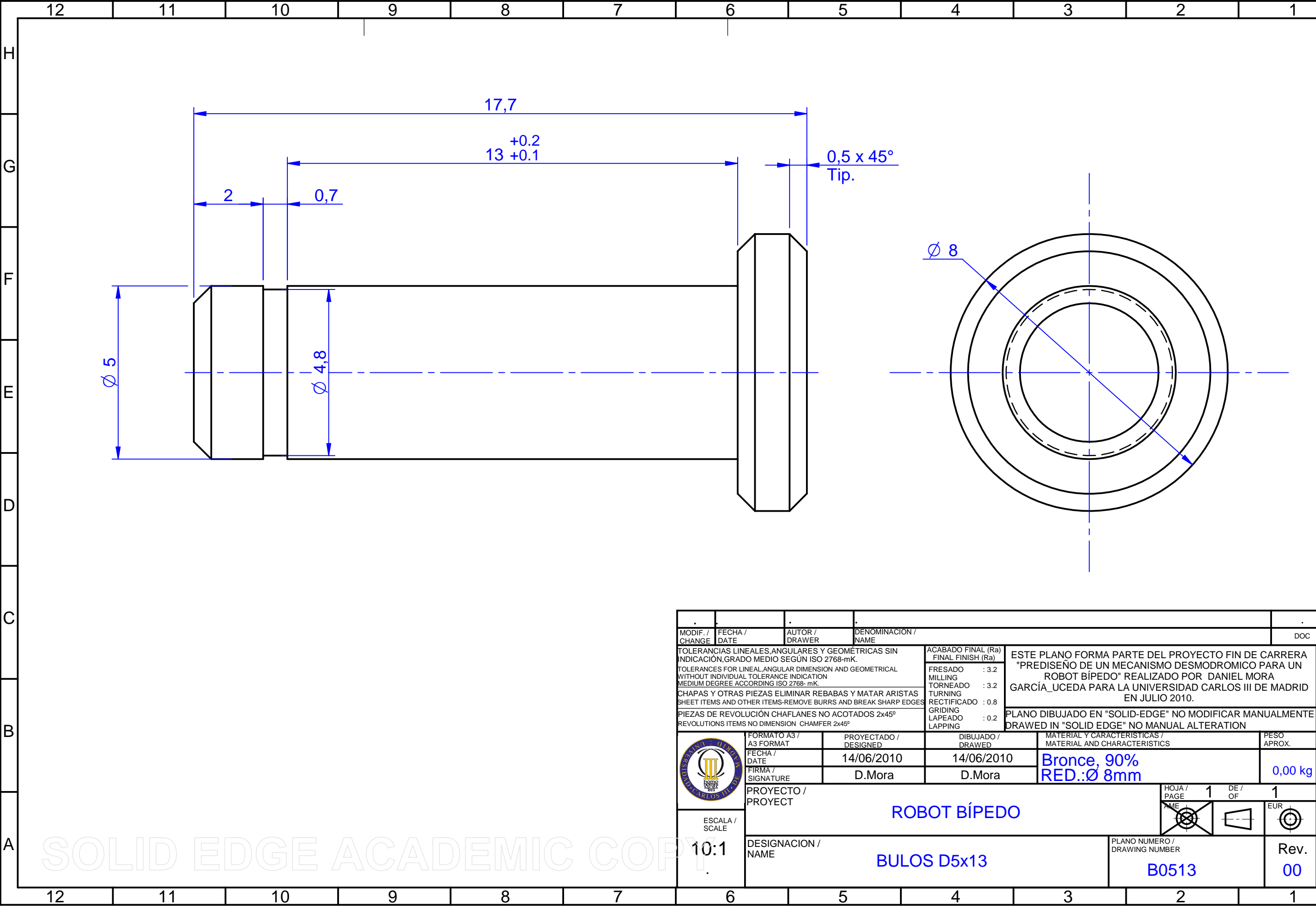
MODIF. / CHANGE		FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACIÓN / NAME		DOC	
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK. TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.		
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			FRESADO : 3.2 MILLING TORNEADO : 3.2 TURNING		PLANOS DIBUJADOS EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION		
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING LAPEADO : 0.2 LAPPING		PESO APROX. 0,00 kg		
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS		
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010		Latón, amarillo Ø8		
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora				
	PROYECTO / PROYECT				PESO APROX. 0,00 kg		
ESCALA / SCALE	ROBOT BÍPEDO				HOJA / PAGE		
	ARANDELA				1 DE / OF		
5:1	DESIGNACION / NAME				PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		
					AF-160801		
					Rev. *		


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

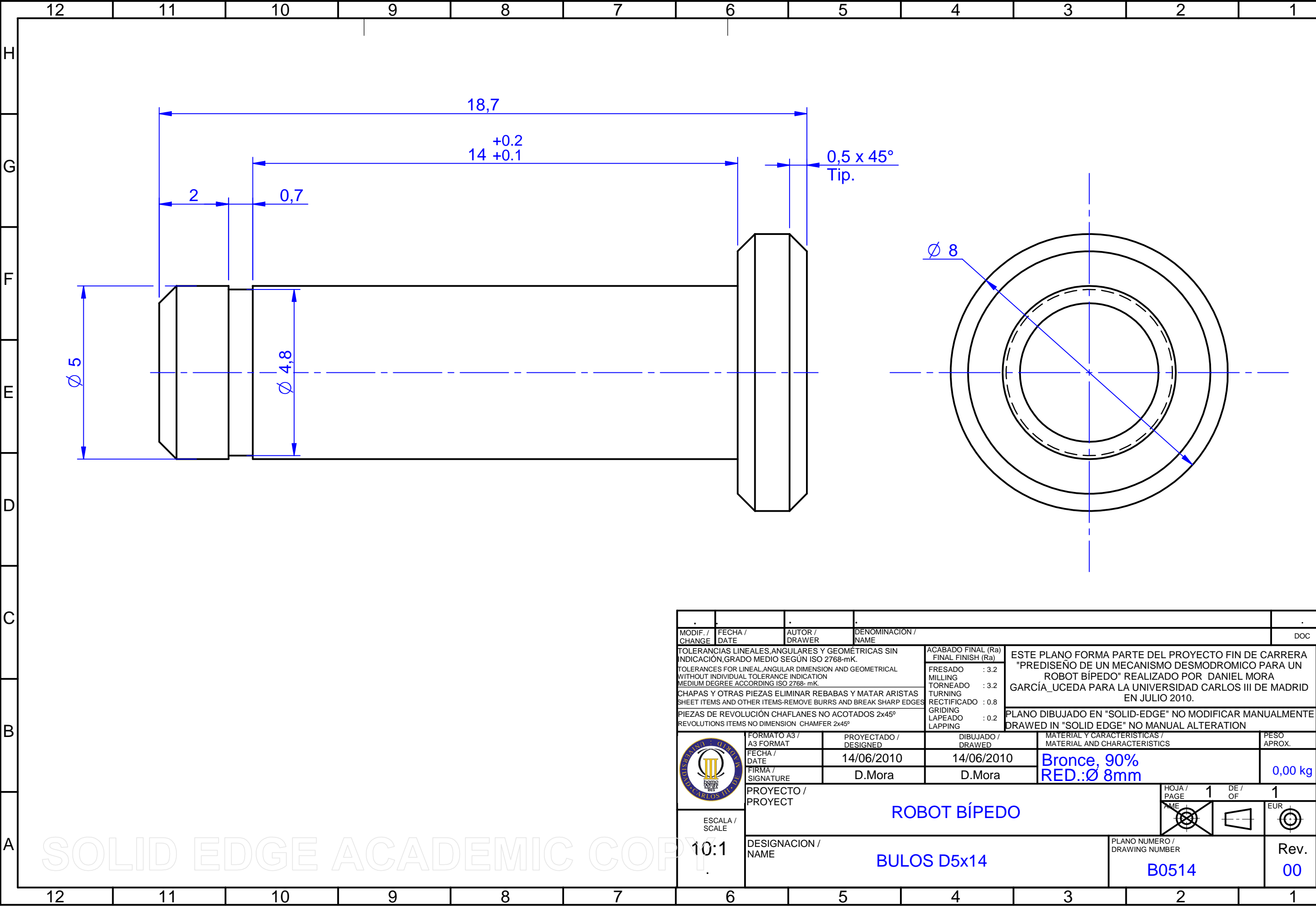




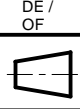



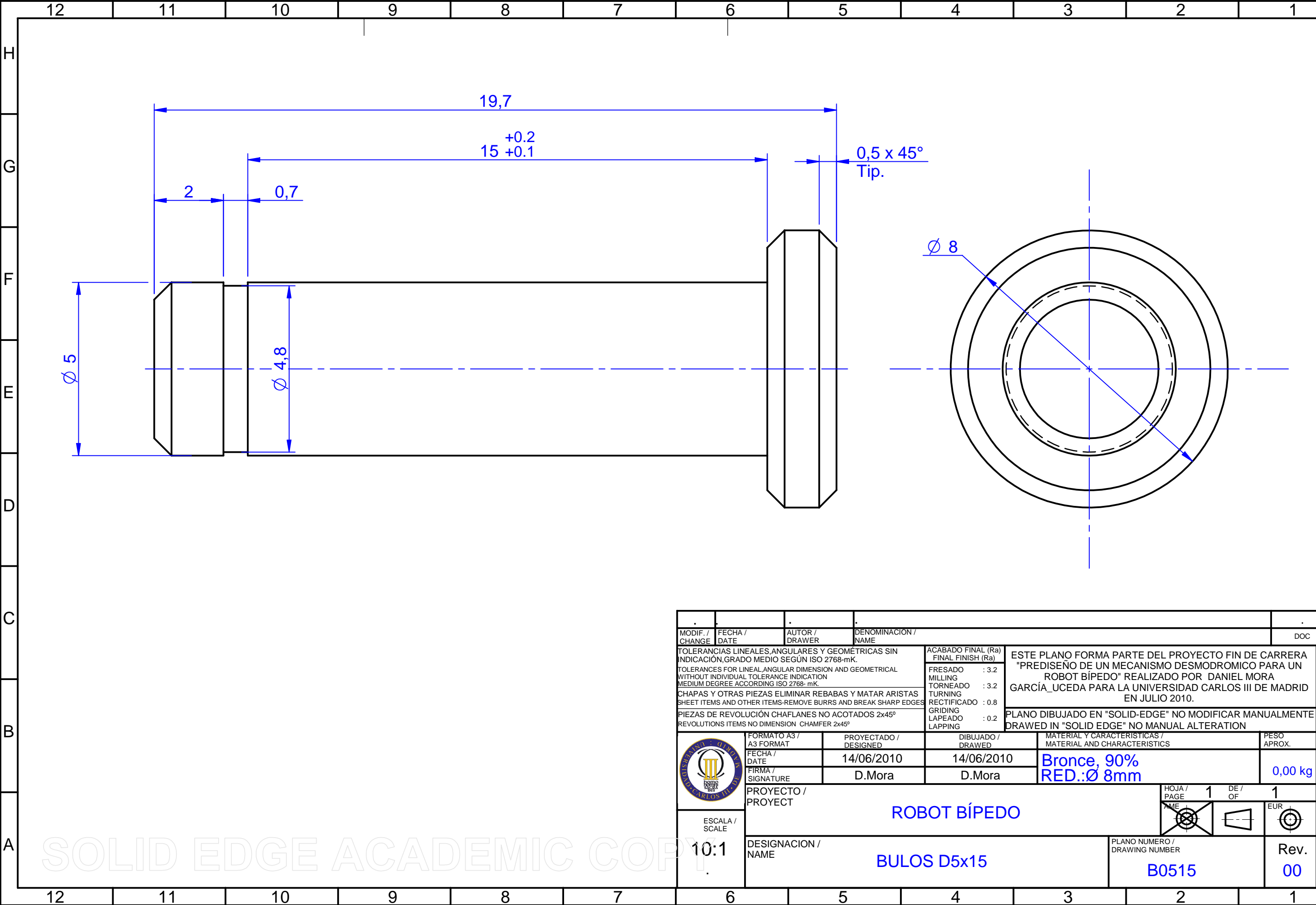
MODIF. / CHANGE		FECHA / DATE		AUTOR / DRAWER		DENOMINACION / NAME		DOC			
TOLERANCIAS LINEALES,ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACION,GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK.				ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.					
TOLERANCES FOR LINEAL,ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.				FRESADO : 3.2 MILLING							
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES				TORNEADO : 3.2 TURNING							
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45º REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45º				RECTIFICADO : 0.8 GRINDING		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION					
				LAPEADO : 0.2 LAPPING							
		FORMATO A3 / A3 FORMAT		PROYECTADO / DESIGNED		DIBUJADO / DRAWED		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS		PESO APROX.	
		FECHA / DATE		14/06/2010		14/06/2010		Bronce, 90% RED.:Ø 8mm		0 kg	
		FIRMA / SIGNATURE		D.Mora		D.Mora					
		PROYECTO / PROJECT		ROBOT BÍPEDO						HOJA / PAGE 1 DE / OF 1	
ESCALA / SCALE 10:1		BULOS D5x09									
DESIGNACION / NAME						PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER				Rev.	
						B0509				00	


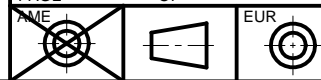


.		
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME			DOC
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACIÓN, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.	
TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			FRESADO : 3.2 MILLING			
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			TORNEADO : 3.2 TURNING			
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING			
			LAPEADO : 0.2 LAPPING		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWED IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION	
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX.	
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	Bronce, 90% RED.:Ø 8mm	0,00 kg	
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora			
PROYECTO / PROJECT				HOJA / PAGE	1 DE / OF	
ROBOT BÍPEDO				AME	EUR	
ESCALA / SCALE	DESIGNACION / NAME			PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER	Rev.	
10:1	BULOS D5x13			B0513	00	



.		.		.				
MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME		DOC			
TOLERANCIAS LINEALES, ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACION, GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)		ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.			
TOLERANCES FOR LINEAL, ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			FRESADO : 3.2 MILLING					
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			TORNEADO : 3.2 TURNING					
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING					
			LAPEADO : 0.2 LAPPING		PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION			
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWED		MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS	PESO APROX.		
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010		Bronce, 90% RED.: Ø 8mm	0,00 kg		
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora					
	PROYECTO / PROJECT					HOJA / PAGE	1 DE / OF	
ESCALA / SCALE	ROBOT BÍPEDO							
10:1	DESIGNACION / NAME				PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		Rev.	
	BULOS D5x14				B0514		00	



MODIF. / CHANGE	FECHA / DATE	AUTOR / DRAWER	DENOMINACION / NAME		DOC	
TOLERANCIAS LINEALES,ANGULARES Y GEOMÉTRICAS SIN INDICACION,GRADO MEDIO SEGÚN ISO 2768-mK.			ACABADO FINAL (Ra) FINAL FINISH (Ra)	ESTE PLANO FORMA PARTE DEL PROYECTO FIN DE CARRERA "PREDISEÑO DE UN MECANISMO DESMODROMICO PARA UN ROBOT BÍPEDO" REALIZADO POR DANIEL MORA GARCÍA_UCEDA PARA LA UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID EN JULIO 2010.		
TOLERANCES FOR LINEAL,ANGULAR DIMENSION AND GEOMETRICAL WITHOUT INDIVIDUAL TOLERANCE INDICATION MEDIUM DEGREE ACCORDING ISO 2768- mK.			FRESADO : 3.2 MILLING			
CHAPAS Y OTRAS PIEZAS ELIMINAR REBABAS Y MATAR ARISTAS SHEET ITEMS AND OTHER ITEMS-REMOVE BURRS AND BREAK SHARP EDGES			TORNEADO : 3.2 TURNING			
PIEZAS DE REVOLUCIÓN CHAFLANES NO ACOTADOS 2x45° REVOLUTIONS ITEMS NO DIMENSION CHAMFER 2x45°			RECTIFICADO : 0.8 GRINDING			
			LAPEADO : 0.2 LAPPING	PLANO DIBUJADO EN "SOLID-EDGE" NO MODIFICAR MANUALMENTE DRAWN IN "SOLID EDGE" NO MANUAL ALTERATION		
	FORMATO A3 / A3 FORMAT	PROYECTADO / DESIGNED	DIBUJADO / DRAWN	MATERIAL Y CARACTERÍSTICAS / MATERIAL AND CHARACTERISTICS		PESO APROX.
	FECHA / DATE	14/06/2010	14/06/2010	Bronce, 90% RED.:Ø 8mm		0,00 kg
	FIRMA / SIGNATURE	D.Mora	D.Mora			
	PROYECTO / PROJECT			HOJA / PAGE 1 DE / OF 1		
ESCALA / SCALE	ROBOT BÍPEDO					
10:1	DESIGNACION / NAME			PLANO NUMERO / DRAWING NUMBER		Rev.
	BULOS D5x15			B0515		00